



El rol de los Ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia

Luis Eduardo Sánchez Huertas

Universidad Ean
Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas
Maestría En Administración de Empresas
Bogotá, Colombia
15 de Octubre de 2024

El rol de los Ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia

Luis Eduardo Sánchez Huertas

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Administración de Empresas

Directora:

Yasmin Galvis Ardila

Modalidad:

Monografía

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas

Maestría En Administración de Empresas

Bogotá, Colombia

15 de Octubre de 2024

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

Gracias a las oraciones, amor y constancia de mi mamá, hoy soy un hombre comprometido con mi sociedad y comunidad, te honro con este homenaje, te veo en el cielo.

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios creador de todas las cosas por permitirme llegar a este punto de desarrollo profesional en donde hace 24 años veía muy lejano incluso el tener un título de técnico profesional cuando inicié mis estudios después del bachillerato en el servicio nacional de aprendizaje SENA. A mi esposa Diana por su apoyo incondicional y respaldo, este trabajo de tesis es más tuyo que mío y a mi hijo Emmanuel por su paciencia al no poder jugar con él muchas veces pero que siempre pregunta que hago y yo con amor le digo que la tesis de mi maestría

Resumen

Este trabajo analiza el papel de los ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia, desde el ferrocarril de Panamá en el siglo XIX hasta proyecciones hacia el 2050, evaluando beneficios, desafíos y oportunidades económicas en el marco de la Agenda Nacional de Infraestructura de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Explora, además, la evolución global de los ferrocarriles, los tipos de trochas y tecnologías emergentes, como los motores de hidrógeno, amoníaco y trenes completamente eléctricos, mostrando su potencial para reducir emisiones y mejorar la sostenibilidad. En el documento se encontrará un análisis de la situación actual del sistema ferroviario colombiano, identificando sus implicaciones económicas, sociales y ambientales para un territorio como el de Colombia. La metodología que incluyó la revisión bibliográfica, fue de tipo investigación mixta, usando encuestas y la metodología Delphi. Este documento muestra el papel de los ferrocarriles en el desarrollo económico y social, resalta su potencial para mejorar la conectividad regional, fomentar la integración nacional y crear oportunidades de crecimiento en países como Colombia.

Palabras clave: Ferrocarriles, Desarrollo económico, Desarrollo social, Transporte de carga, Transporte de pasajeros, Infraestructura de transporte, Logística, Conectividad regional, Oportunidades económicas, Competitividad, Desarrollo sostenible, Política de transporte, Integración regional, Tecnologías emergentes, Agenda Nacional de Infraestructura.

Abstract

This paper analyzes the role of railways in Colombia's economic and social development, from the Panama Railway in the 19th century to projections extending to 2050. It assesses the benefits, challenges, and economic opportunities within the framework of the National Infrastructure Agenda of the National Infrastructure Agency (ANI). Additionally, it explores the global evolution of railways, track types, and emerging technologies, such as hydrogen and ammonia engines, as well as fully electric trains, highlighting their potential to reduce emissions and enhance sustainability. The document provides an analysis of the current state of Colombia's railway system, identifying its economic, social, and environmental implications for a country like Colombia. The methodology, which included a literature review, was of a mixed-research type, employing surveys and the Delphi method. This document demonstrates the role of railways in economic and social development, underscoring their potential to improve regional connectivity, promote national integration, and create growth opportunities in countries like Colombia.

Keywords: Railways, Economic development, Social development, Freight transport, Passenger transport, Transport infrastructure, Logistics, Regional connectivity, Economic opportunities, Competitiveness, Sustainable development, Transport policy, regional integration, Emerging technologies, National Infrastructure Agency.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Tabla de contenido	10
Listado de tablas.....	12
Listado de Imágenes.....	12
1. Introducción.....	13
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo General.....	14
3. Justificación.....	14
4. Marco de referencias.....	15
4.2. Marco Teórico.....	34
4.3. Marco conceptual	41
4.4. Marco Legal.....	68
4.5. Marco Filmográfico	70
5. Hipótesis	70
6. Metodología	70
6.1. Enfoque, Diseño de la investigación, Alcance o tipo de estudio	70
6.2. Definición de categorías.....	72
6.4. Población y muestra:	73

6.5.	Selección de métodos e instrumentos de recolección de información.....	75
6.6.	Procedimientos y técnicas para la aplicación de instrumentos.....	76
7.	Trabajo de campo	79
7.1.	Procesamiento de datos	79
7.1.1.	Revisión de literatura	79
7.1.2.	Encuesta.....	82
7.1.3.	Entrevista a expertos <i>Metodología Delphi</i>	91
7.2.	Análisis de resultados.....	93
8.	Discusión	94
9.	Conclusiones.....	97
10.	Referencias bibliográficas	101
11.	Anexos.....	114
	Anexo 1 Marco – Filmográfico.docx	114
	Anexo 2 Bibliografías Anotadas.docx.....	114
	Anexo 3 Encuesta Público General (1-147).xlsx	114
	Anexo 4 Informe General Encuesta Aplicada.docx	114
	Anexo 5 Validación De Encuesta Cualitativa-Cuantitativa Alfa De Crombach.docx...	114
	Anexo 6 Entrevistas Expertos.docx.....	114
	Anexo 7 Resultados Entrevistas – Método Delphi.docx	114
	Anexo 8 Fichas Técnicas Instrumentos Usados.docx	114
	Anexo 9 Consentimientos Firmados Expertos.docx	114

Anexo 10 Proyecto Turístico De Cisneros.docx	114
Anexo 11 Folletos Portafolio Turístico Cisneros.docx	114
Anexo 12 Proyecto Tren Del Rio.docx	114

Listado de tablas

Tabla 1. Ferrocarriles siglo XIX en Colombia	22
Tabla 2. Ferrocarriles siglo XX en Colombia	23
Tabla 3. Carga movilizada vs Inversión – Modo carretero y férreo	44
Tabla 4. Evolución Histórica del Transporte en Colombia (Siglo XX - XXI).....	46
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la trocha estándar	63
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la trocha angosta	63
Tabla 7. Ventajas y desventajas de los trenes de alta velocidad.....	64
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los trenes convencionales.....	65
Tabla 9. Ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios de carga	66
Tabla 10. Ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios.....	66
Tabla 11. Análisis Delphi del Sistema Ferroviario en Colombia: Categorías, Códigos, Consensos y Discrepancias	92
Tabla 12. Resumen datos revisión de expertos Metodología Delphi	93

Listado de Imágenes

Figura 1. Estructura marco teórico	79
Figura 2. Estructura marco de antecedentes.....	80
Figura 3. Marco conceptual.....	80
Figura 4. Marco legal	81
Figura 5. Frecuencia del uso del ferrocarril	83
Figura 6. Importancia de la Reducción de Emisiones y Sostenibilidad Ambiental	84
Figura 7. Importancia del ferrocarril en la creación de oportunidades económicas.....	84
Figura 8. Opinión sobre políticas gubernamentales	85

1. Introducción

La revitalización del sistema ferroviario colombiano es una prioridad nacional, como lo demuestra la visión 2050 de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), que propone un ambicioso plan para superar los desafíos históricos y aprovechar el potencial del ferrocarril como un motor clave para el desarrollo económico y social de Colombia. A pesar de los esfuerzos anteriores, como el Plan Maestro Ferroviario de 2020, se enfrentan obstáculos significativos, incluyendo inversión insuficiente, obsolescencia de la infraestructura y del material rodante, y falta de una política integral que promueva la integración regional eficaz y el uso sostenible de este medio de transporte.

La investigación "El rol de los Ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia" es tanto relevante como oportuna, enfrentando estos desafíos con un enfoque crítico y propositivo. Este estudio no solo subraya la importancia de modernizar y expandir la red ferroviaria, sino que también propone estrategias para integrar efectivamente las regiones, fomentar la sostenibilidad y mejorar la competitividad del país en el ámbito global. Este trabajo aspira a generar un impacto directo en la formulación de políticas públicas y la planeación estratégica en el sector de transporte y logística, ofreciendo un análisis profundo de la historia ferroviaria de Colombia, evaluando prácticas internacionales exitosas y estableciendo un marco robusto para superar los desafíos del sector. A través de una metodología rigurosa que incluye revisión bibliográfica y entrevistas con expertos y partes interesadas, se busca ofrecer una visión comprensiva y soluciones innovadoras que contribuyan significativamente al desarrollo nacional.

Ubicándose en una intersección entre emprendimiento, gerencia y el análisis del entorno económico de las organizaciones, este estudio se propone evaluar cómo los ferrocarriles pueden ser catalizadores del desarrollo económico y social en Colombia, enfocando en mejorar la conectividad regional y crear oportunidades sustentables para el futuro. Con objetivos específicos que examinan la situación actual, impactos socioeconómicos, planes de desarrollo y recomendaciones estratégicas, este proyecto se posiciona como un contribuyente crucial al fortalecimiento y la expansión del sector ferroviario en Colombia.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Comprender cómo la expansión y modernización de la red ferroviaria, junto con políticas de transporte innovadoras, pueden influir en la dinámica económica local y nacional, así como en el bienestar de la sociedad colombiana.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar el impacto económico y social de la expansión ferroviaria propuesta en la visión 2050 de la ANI,
- Revisar el potencial de la red ferroviaria para estimular el crecimiento de industrias clave del país.
- Evaluar las políticas de transporte ferroviario actuales y proyectadas desde una perspectiva integral.
- Estudiar la posición competitiva del sector ferroviario frente a otros modos de transporte dentro de Colombia.
- Identificar oportunidades concretas de mejora y expansión del sistema ferroviario, colombiano.

3. Justificación

La investigación "El rol de los Ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia" se justifica ampliamente por su relevancia en el contexto actual, marcado por tendencias económicas emergentes, un creciente interés en soluciones de transporte sostenibles, y la necesidad de impulsar la competitividad empresarial en Colombia frente a los desafíos globales. Este estudio se alinea estratégicamente con los esfuerzos nacionales por revitalizar y modernizar el sistema ferroviario, como lo evidencian los ambiciosos planes hacia el 2050 delineados por la ANI (ANI, 2023), reflejando un compromiso con el desarrollo económico inclusivo y sostenible.

Adicionalmente, la investigación se sustenta en la importancia crítica del sector ferroviario dentro de las dinámicas económicas y de mercado actuales. La proyección de un sistema ferroviario renovado y expandido promete transformar la logística interna y la conexión con mercados internacionales, abordando directamente la demanda por eficiencia y sostenibilidad.

De otra parte, este trabajo proporcionará valiosas perspectivas sobre cómo la infraestructura ferroviaria puede ser un catalizador para la mejora de la competitividad de las empresas colombianas, a través de la eficiencia logística y la reducción de costos operativos, identificando cuáles pueden ser las transformaciones necesarias en los procesos organizacionales para integrar este modo de transporte en la cadena de suministro. Busca, además, contribuir significativamente al conocimiento académico mediante un análisis del caso colombiano, ofreciendo una perspectiva integral sobre cómo los ferrocarriles pueden equilibrar la distribución de oportunidades económicas y mejorar el bienestar social.

Finalmente, la investigación se enmarca en la línea de investigación de Emprendimiento y Gerencia del grupo de investigación de Entorno Económico de las organizaciones de la Universidad EAN (Universidad EAN, 2023). La investigación 'El rol de los Ferrocarriles en el desarrollo económico y social de Colombia' justifica plenamente su relevancia y urgencia, alineando la investigación académica con las visiones de desarrollo nacional y regional, enfatizando el impacto transformador que los ferrocarriles pueden tener en la sociedad colombiana hacia un futuro más conectado y sostenible.

4. Marco de referencias

4.1. Marco de Antecedentes

Es importante conocer y reconocer la historia de los ferrocarriles en el mundo, su aporte no solo al crecimiento económico de las naciones, sino que también es válido reconocer hasta dónde la malla férrea existente en diferentes países del mundo ha impactado positivamente el desarrollo social y cultural de las regiones en las que los trenes aún están activos y son pieza fundamental de su cotidianidad.

4.1.2. Historia de los ferrocarriles a nivel mundial

4.1.2.1. Origen e Historia de los Ferrocarriles

La revisión de la literatura, sobre los ferrocarriles sus inicios y orígenes, no proporciona con precisión cuándo se construyó la primera vía férrea, aunque se cree que su origen se relaciona con las hileras paralelas de bloques de piedra que los griegos utilizaron hace unos 2500 años en el istmo de Corinto para el transporte de mercancías y personas (ver imagen 1 – anexo marco filmográfico). De la misma manera, se conoce que uno de los antecedentes más relevantes en la aparición de las locomotoras fue el desarrollo de sistemas de carga en el interior de las minas, se tiene registro de la mina de Lion Cave (cueva del León), ubicada en Suazilandia, en el sur de África. (Fonseca et al., 2015, p. 12), en donde se usaba este sistema básico para sus actividades de extracción de minerales. (ver imagen 2 – anexo filmográfico)

De otra parte, se conoce que fueron tres actividades las que influyeron en la necesidad del desarrollo de grandes máquinas y locomotoras: el desarrollo de las vías de comunicación, la arquitectura y, sobre todo, la construcción de puentes, así como el comercio de minerales. Actividades que han llevado a que históricamente, los ferrocarriles se hayan posicionado como una de las innovaciones más importantes en el transporte, revolucionando la forma en que las personas y los bienes se mueven por tierra (Cartwright, 2023b).

Como parte de la memoria histórica, vale la pena recordar que los ferrocarriles surgieron en la Revolución Industrial del siglo XIX, se comenzaron a construir vías férreas y se desarrollaron los trenes a vapor (Brown, 2006). Estos sistemas de transporte transformaron la economía y la sociedad de los países que los adoptaron, esto gracias a que con este sistema se acortaron las distancias y se aumentó el volumen de mercancías y de personas que se podía mover cada vez más rápido entre grandes distancias de forma económica y eficiente, con respecto a los demás tipos de transportes existentes en el planeta. Además, los ferrocarriles fomentaron la integración de las economías nacionales y la conexión de las regiones antes aisladas. También, se convirtió en pieza clave para el comercio internacional, permitiendo el transporte de productos de una región a otra, conectando países y continentes (Rodríguez & Notteboom, 2024, pp. 72–81).

En la actualidad, los ferrocarriles siguen siendo una forma importante de transporte en muchos países, especialmente en Asia y Europa, y su modernización y expansión continúan siendo una prioridad para mejorar la eficiencia logística y la movilidad de las personas y mercancías, prueba de ello es lo sucedido en India con el ferrocarril electrificado de doble línea para el transporte de contenedores de doble apilamiento en entre las ciudades de Palanpur y Botad, el primero en su tipo en el mundo (Journal, 2020). Como antecedente histórico se conoce que la línea de ferrocarril construida en 1825 en Stockton y Darlington en Inglaterra, usada para transportar carbón desde las minas hasta el puerto de Stockton, fue la primera línea que cumplió con los estándares de ser una línea férrea ciento por ciento comercial que impactó la economía del país de forma positiva. A partir de ese momento, los ferrocarriles se expandieron rápidamente por todo el mundo y se convirtieron en una herramienta esencial para el desarrollo económico y social de los países (Parker, 2023). Es válido afirmar que los antecedentes históricos de los ferrocarriles, además, se remontan a los sistemas de transporte antiguos, como los carruajes tirados por animales y los barcos.

Ahora bien, es claro que, gracias al incremento en la producción de bienes motivada por la Revolución Industrial, se generó una creciente demanda y necesidad de transporte rápido y eficiente. Sin embargo, los métodos de transporte existentes, en su momento, como el transporte por agua y por carretera, no siempre resultaban adecuados para satisfacer esta demanda. El transporte por agua, aunque relativamente económico, se veía limitado por la disponibilidad de rutas fluviales y estaba sujeto a las condiciones climáticas. Por otro lado, el transporte por carretera resultaba ineficiente y costoso para el transporte de grandes volúmenes de mercancías (Rodríguez & Notteboom, 2024, pp. 20–29).

Y como ya se ha dicho, con el surgimiento de los ferrocarriles a partir de la invención de la locomotora de vapor por George Stephenson en la década de 1810, los trenes encontraron su espacio para transportar grandes cantidades de carga y personas a velocidades nunca antes vistas, incluso en terrenos montañosos o de difícil acceso. Esto permitió la estandarización y mecanización de los procesos de producción y distribución de bienes, lo que resultó en un aumento significativo de la eficiencia y la productividad de los países que adoptaron este medio de transporte (Cartwright, 2023a).

4.2.1. La evolución de los sistemas ferroviarios en el mundo

La evolución de los sistemas ferroviarios en el mundo ha sido diversa, con distintos avances tecnológicos, redes de ferrocarriles y desafíos en cada región (Pulido et al., 2021). A continuación, se describen algunos aspectos destacados:

- i. Europa fue pionera en el desarrollo de los ferrocarriles. El primer ferrocarril moderno se inauguró en Inglaterra en 1825 (Parker, 2023). Desde entonces, Europa ha sido líder en tecnología ferroviaria y ha construido algunas de las redes de ferrocarriles más extensas y avanzadas del mundo. Los hitos más importantes incluyen la creación del Eurotúnel en 1994, que conecta Inglaterra con Francia a través del Canal de la Mancha y la implementación del sistema de trenes de alta velocidad (Panwar, 2021).
- ii. Estados Unidos y Canadá fueron los primeros países en construir ferrocarriles en América, con la primera línea de ferrocarril de EE. UU. abierta en 1830 (Brown, 2006, pp. 63–66). A medida que la red se expandió por el continente, se convirtió en un factor clave en el crecimiento económico de cada región, permitiendo el transporte de bienes y personas a largas distancias. Durante la Segunda Guerra Mundial, los ferrocarriles en América del Norte jugaron un papel crucial en el transporte de tropas y materiales militares (The Army Historical Foundation, 2024). Hoy en día, la red ferroviaria sigue siendo una de las más grandes del mundo y se utiliza para el transporte de carga y pasajeros (Berman, 2023).
- iii. Los sistemas ferroviarios de Asia han experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas, especialmente en China. Desde la década de 1980, China ha invertido enormes cantidades de recursos en la construcción de ferrocarriles de alta velocidad y trenes de levitación magnética, convirtiéndose en el país con la red de trenes de alta velocidad más grande del mundo (Lawrence et al., 2019).
- iv. Los sistemas ferroviarios en otros países de Asia, como Japón y Corea del Sur, también han experimentado avances significativos en tecnología y eficiencia, siendo el tren bala Shinkansen de Japón uno de los más famosos de este

continente (Nilson, 2023).

- i. Los sistemas ferroviarios en África y América Latina han enfrentado desafíos significativos debido a la falta de inversión y desarrollo. Muchos países en estas regiones tienen sistemas ferroviarios obsoletos y poco mantenidos (Schwikowski, 2022), lo que ha limitado su capacidad para contribuir al desarrollo económico. Sin embargo, en los últimos años ha habido un renovado interés en la mejora y expansión de los sistemas ferroviarios en estas regiones (Quintella, 2016).

A nivel mundial los sistemas ferroviarios han enfrentado la necesidad de inversiones continuas en tecnología y mantenimiento, la competencia con otros modos de transporte y la necesidad de garantizar la seguridad y comodidad de los pasajeros. A pesar de estos desafíos, los sistemas ferroviarios también han demostrado ser una herramienta valiosa para el desarrollo económico y la conectividad a larga distancia.

4.2.2. Análisis de los Ferrocarriles Colombianos construidos en el siglo XIX y XX

Los primeros ferrocarriles en Colombia se construyeron en la segunda mitad del siglo XIX, el Ferrocarril de Antioquia fue uno de los proyectos pioneros, con Cisneros como una figura clave en su desarrollo. Se centró en la región de Antioquia, una de las áreas más importantes para la producción de café en Colombia. La construcción de ferrocarriles fue un desafío debido a las difíciles condiciones geográficas y las guerras civiles en el país. Estos ferrocarriles se convirtieron en una parte fundamental de la economía colombiana, especialmente para el transporte del café, el principal producto de exportación (Arias de Greiff, 2017).

Ahora bien, para entender un poco más sobre el avance y desarrollo de los ferrocarriles en Colombia, es necesario hacer referencia a Rafael Núñez quien fue un destacado estadista y escritor de la región costeña, y que además, fue presidente de Colombia en cuatro ocasiones (1880-1882, 1884-1886, 1887-1888) se le conocía como 'El Regenerador'. Fue considerado uno de los caudillos civilistas más influyentes en la segunda mitad del siglo XIX en Colombia (Presidencia de la República de Colombia, 2023).

Si bien no se le reconoce principalmente por sus contribuciones a la construcción de ferrocarriles, ya en 1874 había hecho algunas publicaciones sobre el proyecto del ferrocarril del norte (Núñez, 1874) ,su administración jugó un papel fundamental en el desarrollo de varias líneas ferroviarias en Colombia. Esta incluía la línea Bogotá-Girardot y la línea Barranquilla-Sabanalarga, la cuales curiosamente fueron inicialmente ejecutadas por Francisco Cisneros. Estas redes ferroviarias contribuyeron significativamente al progreso económico de Colombia al mejorar el transporte eficiente tanto de mercancías como de personas. Además, estos proyectos de construcción desempeñaron un papel vital en la unificación de la nación y la consolidación de la autoridad del gobierno central en la primera mitad del siglo XX.

En su primer período de gobierno, inició la construcción del ferrocarril de La Dorada (Ortega Díaz, 1949, p. 55); así mismo, la primera etapa del ferrocarril de Girardot (Ortega Díaz, 1923, pp. 390–391) e impulsó el ferrocarril de Buenaventura (Ortega Díaz, 1923, pp. 469–471); fomentó la construcción las ferrerías de Samacá y La Pradera, en los Estados de Boyacá y Cundinamarca; introdujo en el país el servicio del cable submarino, que puso a Colombia en comunicación con todo el mundo; estimuló la navegación por el río Magdalena y por los ríos Lebrija y Sinú. Le sucedió el presidente Francisco Javier Zaldúa (Presidencia de la República de Colombia, 2023).

Por su parte, Francisco Cisneros ingeniero civil y empresario cubano-estadounidense desempeñó un papel fundamental en el desarrollo del transporte y la economía en América Latina, especialmente en Colombia. Se trasladó a Colombia en octubre de 1873 (Horna, 1973, pp. 66–67) donde dejó una huella significativa en el desarrollo de la infraestructura de transporte sobre rieles. Cisneros estuvo involucrado en la construcción de varios ferrocarriles en Colombia, incluyendo el Ferrocarril de Antioquia, el Ferrocarril del Cauca o del Pacífico que conectaba a Buenaventura con Cali, así como los ferrocarriles de Girardot a Facatativá y de La Dorada a Honda. Además, participó en proyectos relacionados con muelles en Puerto Colombia (Horna, 1973, p. 70) y en la colocación de barcos de vapor en el río Magdalena (Horna, 1973, p. 71).

Cisneros no solo se destacó por su participación en proyectos de construcción de ferrocarriles, sino también por su estrecha colaboración con el Partido Conservador en Colombia. A través de esta alianza, obtuvo contratos y protección política que le

permitieron avanzar en sus proyectos de infraestructura (Horna, 1973, p. 81). Su visión se centraba en promover el progreso económico y la independencia de América Latina. A pesar de enfrentar desafíos considerables, como las condiciones sanitarias precarias, la falta de mano de obra y las frecuentes guerras civiles en Colombia, Cisneros dejó un legado duradero al sentar las bases del sistema de transporte que se utilizó para exportar café (Horna, 1973, p. 82), el principal producto de exportación de Colombia. Su trabajo influyó en otros líderes y continuadores del desarrollo ferroviario en el país (Correa Restrepo, 2012b, pp. 217–220).

No obstante, algunos historiadores lo describieron como un “dandy” sofisticado y astuto, apuntando a que su principal motivación era su interés personal. Cisneros, además de su participación en la construcción de ferrocarriles, también poseía barcos de transporte en el río Magdalena. Hacia 1888 era uno de los hombres más adinerados e influyentes de Colombia (Horna, 1973, p. 80) . Su enfoque en los proyectos ferroviarios involucraba un método peculiar: después de elaborar un presupuesto global para la obra propuesta, dividía el costo total por la extensión estimada en kilómetros, y luego procedía a contratar la construcción a un costo por kilómetro. Iniciaba la obra por un tramo relativamente sencillo desde uno de los extremos (Pérez Ángel, 2007, pp. 304–308).

Una vez que los primeros kilómetros estaban en funcionamiento, Cisneros recaudaba ingresos correspondientes a esa sección y distribuía dividendos a los accionistas que habían invertido en acciones ofrecidas en las bolsas de Nueva York y Londres. Sin embargo, ante cualquier excusa, como conflictos de guerra civil, suspendía la obra, rescindía el contrato y recibía indemnizaciones (Arias de Greiff, 2017).

Posteriormente, dejaba que otros llevaran acabo la parte más compleja de la construcción y la finalizaran (Correa Restrepo, 2012a). Este enfoque, visto por algunos como una estrategia oportunista, le permitió a Cisneros avanzar en múltiples proyectos ferroviarios mientras reducía su riesgo financiero personal. A pesar de las controversias en torno a sus métodos, su influencia en el desarrollo ferroviario de Colombia y su legado perduran en la historia del país especialmente en Antioquia en donde incluso hay un pueblo con su nombre y que su economía toma en la historia del ferrocarril y su estación (Álvarez Muñoz et al., 2023).

Ahora bien, es imperioso y como parte de la memoria histórica, conocer y reconocer el estado del arte en cuanto a la red ferroviaria existente en Colombia, por ello en la tabla 1 y en la tabla 2 se registran los ferrocarriles existentes en Colombia durante los siglos XIX y XX respectivamente, su año de construcción y el promotor del mismo.

Tabla 1. Ferrocarriles siglo XIX en Colombia

AÑO	Nombre del ferrocarril	Promotor y detalle
1848	Ferrocarril de Panamá	Construido bajo el gobierno de José Hilario López inicia su proceso el 28 de diciembre de 1848 cuando el istmo de Panamá era el estado del Darién de Colombia antes de 1903. (Correa R., 2012b, p. 55) .
1872	Ferrocarril de Occidente	El proyecto Cali-Buenaventura empieza bajo el Gobierno de Manuel Murillo Toro mediante la ley 52 del 14 de mayo de 1872. (Correa R., 2012a, p. 44) .
1872	Ferrocarril de Antioquia.	Bajo la ley nacional 60 de 1871 y la 52 de 1872 se autoriza al poder ejecutivo federal para la financiación y construcción de esta línea. (Poveda Ramos, 2010, p. 112).
1882	Ferrocarril de la sabana	Se inicia su construcción en 1882 bajo el gobierno de Rafael Núñez y se inaugura el 20 de julio de 1889 con una extensión de 40 kilómetros. (Poveda Ramos, 2010, p. 154)
1876	Ferrocarril de Cúcuta	El camino carretero de Cúcuta al río Zulia fue su precursor, el contrato se celebró el 4 de septiembre de 1876 (Ortega Díaz, 1923, p. 354), en donde adicionalmente este ferrocarril llegó a la frontera venezolana bajo ordenanza # 65 del 10 de agosto de 1892.(Ortega Díaz, 1923, p. 460) .
1878	Ferrocarril de Honda - La Dorada	Desde 1878 se inician trabajos en cabeza del ingeniero Nicolas Pereira Gamba, este fue el primer ferrocarril que tuvo puentes de Hierro en Colombia fue una línea que alcanzo a tener 33 kilómetros. (Poveda Ramos, 2010, pp. 152–153).
1890	Ferrocarril de Cundinamarca	En 1890 el gobierno decide prolongar el ferrocarril de la sabana hasta el río Magdalena siguiendo el trazado propuesto por el ingeniero Indalecio Liévano, por la guerra civil de los 1000 días y litigios legales duró suspendida durante muchos años. (Poveda Ramos, 2010, p. 155).
1892	Ferrocarril del Tolima	El origen de esta vía arranca de la época en que la Asamblea del Departamento del Tolima expidió la Ordenanza número 18 de 4 de agosto de 1892. (Ortega Díaz, 1923, p. 623) desafortunadamente por la guerra de los mil días y la primera guerra mundial estuvo suspendida hasta 1919. (Poveda Ramos, 2010, p. 523).
1887	Ferrocarril de Girardot	Se inicia con la celebración del contrato el 17 de septiembre de 1887 y fue una obra que inicia Francisco Cisneros hasta juntas de Apulo pero abandona el proyecto a finales de 1888. (Pérez Ángel, 2007, p. 199,215) .

1887	Ferrocarril de Barranquilla (Bocas de Ceniza)	Se le considera el primer ferrocarril de Colombia y fue una iniciativa del estado soberano de Bolívar, termina sus trabajos el 13 de julio de 1887 (Poveda Ramos, 2010, pp. 95–103) .
1890	Ferrocarril de Cartagena Calamar	El presidente Rafael Núñez en los primeros días de 1890 ordena el inicio su construcción, y el 1º de agosto de 1894 se da al servicio el ferrocarril al público. (Ortiz Cassiani, 2018, p. 70,75).

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja la línea de tiempo de construcción y crecimiento de la línea ferroviaria en Colombia durante el siglo XIX.*

Tabla 2.Ferrocarriles siglo XX en Colombia

AÑO	Nombre del ferrocarril	Promotor y detalle
1892	Ferrocarril de Tolima-Huila (Continuación de Girardot)	Bajo la ordenanza número 18 del 4 de agosto de 1892, el gobernador del Tolima autoriza el contrato de construcción de vías férreas. Debía iniciar desde el puente de Girardot, en el río Magdalena y llegar hasta Ibagué, tener dos ramificaciones norte (Ambalema) y Sur, y que pudiera prolongarse hasta la ciudad de Neiva. (Ortega Díaz, 1949).
1911	Ferrocarril de Caldas	El 2 de diciembre de 1911 se celebra un contrato entre el gobierno nacional y el departamento de caldas para la construcción de este tramo.(Ortega Díaz, 1923, pp. 333–334) .
1920	Ferrocarril de Carare	En 1920 se inician los estudios para conectar desde Tunja hacia el río Magdalena en la desembocadura del río Carare, en 1935 se abandona este tramo y se levantan los rieles (Poveda Ramos, 2010, pp. 503–505). Hoy en día se tiene en consideración para la ampliación vía Belencito hacia el Magdalena en el plan 2050 de la ANI. (ANI, 2023).
1921	Ferrocarril Ambalema-Ibagué.	En 1921 inician las obras en Ambalema y se entrega cerca de Ibagué en 1931. (Poveda Ramos, 2010, p. 488).
1882	Ferrocarril de Santa Marta	Ferrocarril que sigue siendo productivo hasta el día de con el transporte de carga y que hace parte del ferrocarril del Atlántico Los trabajos inician el 17 de Junio de 1882, en 1894 llega al río Sevilla y en 1906 llegó a Fundación.(Poveda Ramos, 2010, pp. 159–163).
1892	Ferrocarril del Sur	Ferrocarril que se puso en servicio entre 1912 y 1913, conectó a Bogotá con Soacha y tuvo dos ramales, uno llega hasta el alto de San Miguel con estudios de ampliación hasta Fusagasugá por Sibaté y el otro ramal hasta el salto del Tequendama, este tramo fue el proyecto inicial de conectar a Girardot con Bogotá por la hoya del Río Bogotá en Juntas de Apulo en los trazados iniciales de Indalecio Liévano, (Ortega Díaz, 1923, pp. 622–623)

1872	Ferrocarril del Norte	El proyecto de construir el ferrocarril en esta región se inició en 1872; sin embargo, debido a razones económicas y conflictos bélicos, su ejecución se postergó hasta 1892. El 29 de abril de 1893, se presentaron los planos que conectaban Bogotá y Zipaquirá. El 20 de julio de 1894, se llevó a cabo la inauguración del servicio ferroviario hasta el Puente del Común (La Caro). Para el 6 de diciembre de 1896, se extendió el servicio hasta Cajicá. Luego, el 15 de abril de 1898, se amplió el alcance del ferrocarril para incluir a Zipaquirá. Finalmente, el 5 de junio de 1907, el servicio se expandió hasta Nemocón. (Poveda Ramos, 2010, pp. 281–292) .La ruta original del ferrocarril seguía el trazado actual de la Carrera 14 (Avenida Caracas) desde la Calle 17, luego seguía por la autopista norte hasta la Caro, y partía desde la estación del ferrocarril del Norte, ubicada en la intersección de la Carrera 14 con la Calle 17 (aunque actualmente esta estación ya no existe), conectando así con la estación de la Sabana. Hoy en día opera este tramo hasta Zipaquirá la compañía Turistren.
1920	Ferrocarril del Nordeste	La construcción del Ferrocarril del Nordeste comenzó con la presentación de los planos de la obra al Gobierno de Cundinamarca el 2 de octubre de 1920 con la concesión otorgada a Francisco Pineda López, este ferrocarril pasa a la nación en 1938 (Ortega Díaz, 1949, pp. 56–58), y actualmente es el que opera desde Belencito Boyacá, hasta el punto kilométrico 5 en puente Aranda en Bogotá trazado que fue modificado en los años 50 para dar paso a la carrera 30. El trazado Original empezaba en los terrenos que hoy en día son de la Clínica Mederi (Antigua Clínica San Pedro Claver) y el edificio Colseguros entre la Avenida Américas y Calle 22 entre la carrera 30 y carrera 22, y que seguía por esta avenida NQS hacia el norte y continuaba por la carrera 9 hasta llegar a la estación en la Caro. Este ferrocarril se cruzaba con el FC del norte a la altura de lo que hoy es la calle 92.
1952	Ferrocarril del Atlántico	En 1950, Lauchlin Bernard Currie, un economista canadiense y miembro del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Hoy en día banco Mundial), propuso la idea de crear un ferrocarril que conectara Puerto Wilches con el Ferrocarril de Antioquia en Puerto Berrío (Currie, 1950). Dos años más tarde, se inició la construcción del tramo Puerto Salgar - Gamarra, que pasaba por Puerto Berrío y originalmente llevaba el nombre de Ferrocarril del Río Magdalena. Sin embargo, durante el mandato de Gustavo Rojas Pinilla (1953-1957), se decidió cambiar este nombre por el de Ferrocarril del Atlántico, y se impulsó su extensión hasta Fundación. Fue en 1958 cuando se celebró la inauguración del tramo La Dorada - Puerto Berrío, y tres años después se oficializó, permitiendo así en su momento la comunicación continua entre Bogotá y Santa Marta (Ferrocarriles Nacionales de Colombia, 1961). Actualmente es único tramo que opera entre la dorada y santa Marta con transporte parcial de carga (ANI, 2023)
1922	Ferrocarril de Nariño	Se realiza su construcción por la Ley 102 de 1922 y su operación era desde Tumaco hasta el diviso con una extensión de 111 kilómetros, para ser conectado con pasto y Popayán, se tenía como planificación para ser conexión del puerto de Tumaco (Ortega Díaz, 1949, pp. 59–60). Por sugerencia de la Misión Currie se levantan los rieles en 1951. (Currie, 1950).

1922	Ferrocarril troncal de occidente	Proyecto inicial concebido en 1922 con el empréstito de 100 millones de dólares para sistemas de trenes y carrileras y que autorizó la construcción del ferrocarril para unir Cartagena con Popayán y que pasaba Cauca, valle, Caldas Antioquia y Bolívar (Ortega Díaz, 1949).
1914	Ferrocarril del Pacífico sector Ibagué-Armenia	El proyecto del Ferrocarril Armenia-Ibagué tuvo un proceso de inicio en 1914, planteado para unir ambas ciudades mediante la conexión de los ferrocarriles existentes: el del Pacífico y el del Tolima-Huila. La construcción comenzó en 1929 pero se detuvo, retomándose una década después. Se logró construir un tramo desde Armenia hasta Boquía (Salento) y desde Ibagué hasta Cajamarca, en el lado de Quindío. La disposición de las vías dividió la ciudad de Armenia, ya que la vía quedó encajada en una zanja, dificultando el paso. Para solucionarlo, se decidió crear un falso túnel de más de un kilómetro para cubrir esta sección que atravesaba la ciudad (Ortega Díaz, 1949, pp. 68–70). En 1948, las obras se suspendieron y las vías férreas fueron desmanteladas. (Jaramillo, 2019)
1914	Ferrocarril del Oriente (Ferrocarril del llano).	Se planteó un ferrocarril para conectar Bogotá con los llanos orientales en 1880, buscando unir la capital con un puerto sobre el río Meta. Conocido como el Ferrocarril de los Llanos o del Meta, su construcción comenzó en 1914 con un tranvía eléctrico desde la Plaza Bolívar hasta Puente Núñez, luego extendido hasta el río Fucha en 1917, llegando a Yomasa en 1927 y a Usme en 1928. La Estación Vicente Olarte Camacho en Usme se inauguró en 1931, año en que se detuvieron las obras. En 1935, se decidió retirar los rieles y vender el material rodante al Ferrocarril del Sur (Poveda Ramos, 2010, p. 489) .
1909	Ferrocarril de Amagá y la pintada	Se planteó una ambiciosa conexión ferroviaria desde el interior de Antioquia hasta el río Cauca, partiendo de Medellín y serpenteando entre las desembocaduras de la quebrada de Amagá y el río Poblano. Los trabajos comenzaron el 2 de julio de 1909, y para el 8 de febrero de 1911 se logró colocar el primer riel, marcando así el avance de la ruta. A lo largo de los años, se extendió hasta Caldas en 1911, alcanzó Amagá en diciembre de 1914 y se amplió hasta Angelópolis en 1917. En 1923, el Ferrocarril de Amagá se vendió al departamento y se fusionó con el Ferrocarril de Antioquia. En 1942, el Ferrocarril del Pacífico finalizó su conexión a La Pintada, asegurando el vínculo entre Medellín y el Puerto de Buenaventura. Sin embargo, a pesar de su existencia hasta la década de 1970, durante el gobierno de Misael Pastrana, la ruta se abandonó debido a daños causados por una crecida del río Cauca. (Poveda Ramos, 2010, pp. 377–394)
1872	Ferrocarril del Pacífico	El Ferrocarril del Pacífico, trazado para unir Cali con el Puerto de Buenaventura, comenzó en 1878. Avanzó a paso lento, inaugurando tramos como Buenaventura-Córdoba en 1882 y enfrentando interrupciones durante la Guerra de los Mil Días en 1899. Progresó gradualmente, alcanzando Dagua en 1909 y extendiéndose a ciudades como Yumbo, Cali y más allá. La línea creció con los años, llegando a Palmira, Tuluá, Bugalagrande y Cartago (347 Kilómetros), y extendiéndose desde El Zarzal hasta Armenia para luego conectarse con el Ferrocarril del Tolima. Desde Cali, se expandió hasta Popayán, alcanzando su destino en 1925. Para 1930, se convirtió en el ferrocarril más amplio y avanzado

		del país (598 Kilómetros). En 1940 se fusionó con los Ferrocarriles Nacionales, se conectó con el de Antioquia en 1942 y en 1959 absorbió el Ferrocarril de Caldas. (Poveda Ramos, 2010, pp. 341–375)
1983	Ferrocarril del Cerrejón	Tramo privado construido en 1983 para el transporte de carbón en la guajira el cual es el único en trocha estándar de 1434mm y tiene una longitud de 150 kilómetros (Acosta, 2012). Es el único tren de construcción reciente en Colombia

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja la línea de tiempo de construcción y crecimiento de la línea ferroviaria en Colombia durante el siglo XX.*

4.1.4. Contribuciones al desarrollo económico: ¿La misión Currie, la estocada final al desarrollo ferroviario en Colombia en el siglo XX?

Antes de la llegada de la "Misión Currie" y su posterior informe en 1950 (Currie, 1950) , Colombia enfrentaba desafíos en su sistema ferroviario, incluidos problemas financieros, ineficiencias operativas y una falta de coordinación entre las diferentes líneas ferroviarias (Ortega Díaz, 1949, pp. 10–11). Estos problemas habían llevado al sistema ferroviario colombiano a un estado de deterioro generalizado. La misión, encabezada por Lauchlin Currie y patrocinada por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (IBRD), hizo una evaluación de los ferrocarriles nacionales de Colombia, basándose en la situación de los ferrocarriles colombianos en ese momento, incluyendo su eficiencia, costos, operaciones y estado general (Currie, 1950, pp. 100–117). Es importante destacar que el "Consejo Administrativo de los ferrocarriles Nacionales" fue creado por la Ley 29 de 1931 para administrar las vías propiedad del Gobierno Nacional (Ortega Díaz, 1949, pp. 78–84).

Por otro lado, esta misión basa sus recomendaciones de transporte a raíz del resultado de una misión técnica en 1946 titulada "A Study of Colombian Transportation, by the U. S. Railway Mission to Colombia" (Currie, 1950, p. 109,111,443,445,446). La Misión Currie, llevada a cabo entre julio y noviembre de 1949, se centró en un estudio exhaustivo de la economía colombiana, incluyendo un diagnóstico del sistema de transporte, identificando obstáculos relacionados con la topografía del país y recomendó mejoras en la administración pública en el sector del transporte.

4.1.4.1. Propósito de la Misión Currie encabezada por el IBRD

La Misión Currie, tenía como objetivo realizar un exhaustivo estudio de la economía colombiana, incluyendo un diagnóstico del transporte entre otros aspectos como calidad de vida y desarrollo. Su pregunta central era cómo elevar el nivel de vida de la población (Currie, 1950, pp. XV–XVIII). Además, recomendó mejorar la administración pública en relación con el transporte, la construcción de carreteras en manos del sector privado, y la unificación del sistema ferroviario colombiano. Currie entregó un informe al Banco que luego fue transferido al presidente de Colombia en ese momento, Mariano Ospina Pérez.

En relación con el transporte, la Misión identificó desafíos relacionados con la topografía y sugirió mejoras en la administración pública en el sector de transporte (Currie, 1950, p. 3). También, se sugirió la construcción de un ferrocarril que conectara Puerto Wilches con La Dorada y Puerto Salgar, uniendo así las redes ferroviarias y conectándolas con un puerto en el mar Caribe. También se propuso la unificación de todo el sistema ferroviario bajo una misma anchura de trocha para evitar transbordos de pasajeros y carga (Currie, 1950, p. 457). Estas recomendaciones se hicieron con la intención de mejorar la eficiencia y la conectividad del sistema ferroviario en Colombia. En el ámbito del transporte terrestre, hizo también recomendaciones sobre la construcción y el mantenimiento de carreteras, así como la construcción del ferrocarril de Atlántico (Currie, 1950, pp. 450–452).

Adicionalmente propone suspender la construcción del Ferrocarril Ibagué-Armenia (Currie, 1950, p. 102,109). Reubicar el tramo de la línea principal occidental del ferrocarril Anzá- Cartagena. Por uso eficiente de equipos proponen una segunda línea ferroviaria entre Cali y Buenaventura y no una nueva línea entre Buga y Buenaventura. Y abandono de líneas en el ferrocarril de Nariño: El Diviso-Tumaco, y el Ferrocarril de Calamar-Cartagena para mejora del transporte por el Canal del Dique (Currie, 1950, pp. 455–459) Sin embargo, es importante destacar que las sugerencias de Currie y el Banco Mundial también recibieron críticas. Algunos críticos, como Roberto Cárdenas Ulloa, argumentaron que las sugerencias de Currie llevaron a la quiebra de los Ferrocarriles Nacionales, principalmente debido a la supresión de tramos estratégicos y al impulso para construir carreteras en lugar de ferrocarriles. Además, se señaló que la decisión de cambiar de locomotoras a vapor a diésel no fue exitosa y resultó en un gasto innecesario (Vergara Benedetti, 2008).

4.1.4.2. Decisiones tomadas por el gobierno de Colombia a partir de esta misión

En respuesta a las recomendaciones de la Misión Currie, se creó Ferrocarriles Nacionales de Colombia (FCN) en 1954 como una empresa estatal autónoma con patrimonio propio. Esta decisión surgió de las observaciones de la Misión Currie que sugirió un cambio en la administración del sistema ferroviario (Vergara Benedetti, 2008, pp. 51–52). Sin embargo, la creación de FCN también trajo consigo un aumento en la burocracia y una gestión ineficiente, la empresa experimentó problemas financieros significativos en los años siguientes.

Dentro de las decisiones tomadas por el Gobierno nacional, basado en el Reporte Misión Currie, fue iniciar la construcción del Ferrocarril de Atlántico siguiendo las especificaciones de la Misión Currie (Vergara Benedetti, 2008, pp. 53–54) ,a pesar de que el proyecto presentó errores de diseño y no se conectó con los puertos de Barranquilla y Cartagena. Estas decisiones, impulsadas por la Misión, tuvieron un impacto negativo en la consolidación del sistema ferroviario.

4.1.4.3. Consecuencias en el sistema ferroviario

Las decisiones tomadas a partir de la misión llevaron a problemas financieros en FCN ejemplo de ello fue La construcción del Ferrocarril de Atlántico que presentó deficiencias técnicas que limitaron su eficacia y conectividad; además, el cambio de locomotoras de vapor por diésel, sugerido por la Misión técnica, resultó problemático y costoso (Vergara Benedetti, 2008, pp. 58–60). Por tanto, la falta de inversión, la construcción deficiente del Ferrocarril de Atlántico y la preferencia por la carretera como alternativa de transporte afectaron negativamente la viabilidad de los ferrocarriles en el país (Pachón & Ramírez, 2006, pp. 317–318).

Es claro que, el recorte de inversión en los ferrocarriles a lo largo del siglo XX y la preferencia por la construcción de carreteras debilitaron el sistema ferroviario, contribuyendo al declive de los ferrocarriles colombianos. La falta de inversión y la falta de una política integradora de transporte permitieron que la carretera se consolidara como el modo de transporte predominante en Colombia (Vergara Benedetti, 2008, pp. 67–71). Y se concluye que algunas de sus recomendaciones y las decisiones tomadas

posteriormente no lograron fortalecer el sistema ferroviario (Pachón & Ramírez, 2006, pp. 295–297), contribuyendo finalmente a su declive en el siglo XX.

También, se podría concluir que la Misión Curie marcó un punto de inflexión en la preferencia de Colombia por otros modos de transporte, especialmente las carreteras, en detrimento del ferrocarril (Pachón & Ramírez, 2006, pp. 307–309). Sumado a esto la falta de inversión por parte del estado para asegurar la red ferroviaria, así como la inexistencia de políticas claras, consistentes y a la medida de las necesidades del país desde la perspectiva de su territorio físico como su proyección económica y calidad de vida de los colombianos, se gestó la mezcla perfecta para detener el crecimiento del ferrocarril en Colombia.

4.1.5. Desarrollo económico del país y su relación con los ferrocarriles

Ya se ha mencionado cómo en Colombia los ferrocarriles han tenido un momento de esplendor y oscuridad que inició en el siglo XIX. La construcción de las primeras líneas férreas fue un hito crucial que permitió la interconexión de regiones geográficamente diversas, facilitando el transporte de bienes y personas. Este sistema ferroviario histórico desempeñó un papel central en la economía del país, especialmente en la exportación de productos agrícolas, minerales y otras mercancías. El ferrocarril permitió a Colombia acceder a mercados distantes y expandir su alcance en el comercio internacional (Meisel Roca et al., 2014, p. 48).

A pesar de su importancia histórica, el ferrocarril perdió relevancia en el siglo XX, en gran parte debido a la inversión preferencial en carreteras y caminos, como ya se anotó, gracias a las recomendaciones de la Misión Currie. Lograr la recuperación de los ferrocarriles claramente impactaría el desarrollo económico del país, para ello es necesario evaluar la capacidad del Ministerio de Transporte de Colombia para fortalecer la infraestructura logística a partir del ferrocarril y mejorar a su vez la competitividad en el comercio internacional (Plan Maestro Ferroviario, 2020).

4.1.6. Estado actual de los ferrocarriles en Colombia: Desafíos y oportunidades

El estado actual de los ferrocarriles en Colombia presenta una serie de desafíos que deben

abordarse para revitalizar este modo de transporte. La infraestructura ferroviaria ha experimentado un deterioro significativo y su capacidad ha estado subutilizada durante décadas (Plan Maestro Ferroviario, 2020, p. 10). Esto plantea desafíos financieros y logísticos para la renovación y modernización de la red ferroviaria. Sin embargo, las oportunidades son notables.

La modernización de los ferrocarriles en Colombia podría brindar un sistema de transporte multimodal eficiente que reduzca la congestión en carreteras, disminuya las emisiones de gases de efecto invernadero y promueva la competitividad económica. Para aprovechar estas oportunidades, es crucial atraer inversiones tanto públicas como privadas y establecer políticas que fomenten el uso sostenible de los ferrocarriles. Es así como desde el gobierno nacional, se ha marcado un punto de inflexión en la historia ferroviaria de Colombia con su compromiso de reactivar y expandir la red ferroviaria nacional, proyectando adjudicar tres contratos que suman 1.817 kilómetros de vías férreas en los próximos años. Con 3.533 kilómetros de red ferroviaria existente, de los cuales solo 1.074 están operativos, el objetivo es ampliarla hasta 5.400 kilómetros para 2050 (ANI, 2023). Este ambicioso plan busca no solo superar el estado de deterioro y subutilización histórica sino también transformar el sistema ferroviario en un pilar para el desarrollo sostenible y la conectividad regional del país. Este esfuerzo refleja una visión de futuro en la que los ferrocarriles juegan un papel crucial en la reducción de la congestión vial, la disminución de emisiones y la promoción de la competitividad económica a través de una logística eficiente. (Salazar Montes, 2024)

4.1.7. Impacto social y medioambiental de los ferrocarriles: Lecciones aprendidas

El impacto de los ferrocarriles en la sociedad y el medio ambiente representa un tema de creciente relevancia en nuestros tiempos. La modernización ferroviaria promete no solamente mejorar la movilidad de las personas, sino también facilitar el acceso a zonas anteriormente llamadas inaccesibles tal como se observa en los casos de los ferrocarriles de Caldas (Hoyos Körbel, 2023, pp. 12–22) y Antioquia en el pasado, la cual fue una de las más difíciles del siglo XIX y que solo pudo concluirse a finales de los años veinte (Correa Restrepo, 2012b, p. 34). Esta evolución es particularmente ventajosa para aquellas comunidades que se apoyan en el transporte ferroviario para su desplazamiento y para acceder a oportunidades económicas (Pulido et al., 2021).

Desde una perspectiva medioambiental, los ferrocarriles se presentan como modos de transporte considerablemente más sostenibles que su contraparte por carretera, dado su menor volumen de emisiones y reducido impacto ambiental. Es posible extraer valiosas lecciones de países que han efectuado con éxito la transición hacia sistemas ferroviarios más verdes y socialmente ventajosos (UNECE, 2018). Es crucial tener en cuenta el contexto microeconómico del país en este proceso para que estas prácticas se puedan aplicar al contexto colombiano a partir de las lecciones aprendidas para poder hacer la transición hacia un sistema ferroviario más sostenible, contribuyendo al desarrollo económico inclusivo y la reducción de emisiones en sectores clave del transporte (Rail BI, 2024).

El resurgimiento de la red ferroviaria colombiana promete tener un impacto social y medioambiental significativo. Mejorando la movilidad y accesibilidad, en particular en zonas montañosas y remotas, los ferrocarriles tienen el potencial de propiciar un desarrollo más inclusivo, al conectar comunidades con mercados y servicios fundamentales, y desde el ángulo medioambiental, la evolución hacia una infraestructura ferroviaria moderna y eficiente se erige como una alternativa sostenible (Pulity, 2022). Esta no solo tiene el potencial de minimizar las emisiones en una medida considerable en comparación con el transporte por carretera, sino que también promueve un enfoque más equitativo en el desarrollo territorial.

4.1.8. ¿La modernización de los ferrocarriles puede influir en el desarrollo económico y social de Colombia?

La modernización de los ferrocarriles en Colombia se perfila como una fuerza transformadora para el desarrollo económico y social del país. Al revitalizar y expandir la infraestructura ferroviaria, se abren oportunidades significativas para reducir los costos de transporte de mercancías, aumentando la competitividad de Colombia en el ámbito internacional. Esta evolución está en consonancia con los planes hacia el 2050 de la ANI (ANI, 2023), este esfuerzo promete no solo fomentar el desarrollo económico mediante la generación de empleo tanto directo como indirecto, sino también mejorar sustancialmente la conectividad en áreas anteriormente marginadas y remotas, mitigando las disparidades regionales y favoreciendo un desarrollo más inclusivo y equitativo a lo largo del país.

La inversión en ferrocarriles se alinea con la visión gubernamental de recuperar y

maximizar este modo de transporte como columna vertebral de un sistema de transporte multimodal eficiente. Esto implicaría un avance considerable hacia la sostenibilidad, disminuyendo la dependencia de las carreteras y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo que se promueve una logística eficaz y sostenible (Ministerio de Transporte, 2024). El gobierno actual ha iniciado una campaña para reactivar el sistema ferroviario, con el lema y hashtag “#VuelveElTren” (Agencia Nacional de Infraestructura, 2024), que no solo busca revitalizar las redes existentes sino también expandir y modernizar la infraestructura, contribuyendo así al progreso económico y a la cohesión social.

Este enfoque integral en la modernización de los ferrocarriles, acompañado de políticas enfocadas en el desarrollo y la sostenibilidad, concuerda con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, destacando el compromiso de Colombia con un crecimiento inclusivo y respetuoso con el medio ambiente (Naciones Unidas, 2023). La promesa de un futuro ferroviario renovado en Colombia no solo simboliza un retorno a la gloria de una era pasada, sino que también representa un compromiso firme con el desarrollo sostenible y equitativo, posicionando al país como líder en la región en términos de innovación en transporte y sostenibilidad (Agencia Nacional de Infraestructura, 2024).

4.1.9. Políticas públicas y su influencia en el desarrollo del transporte ferroviario

Las políticas públicas constituyen el cimiento sobre el cual se construye y se fortalece el desarrollo del transporte ferroviario en Colombia. En este contexto de transformación, es imperativo que el gobierno colombiano implemente un marco regulatorio robusto, complementado con incentivos fiscales atractivos y programas de financiación sólidos, diseñados específicamente para catalizar la modernización y expansión de la red ferroviaria. Este enfoque se alinea con el ambicioso plan hacia el 2050, que aspira a redefinir la infraestructura ferroviaria del país, expandiendo su alcance y mejorando su eficiencia (ANI, 2023).

La colaboración estratégica con el sector privado emerge como un pilar crucial para canalizar inversiones significativas hacia este sector, vital para el futuro logístico y económico del país. Paralelamente, la inversión en investigación y desarrollo se perfila como un elemento crítico para integrar tecnologías ferroviarias avanzadas y sostenibles en

el sistema actual, marcando el paso hacia un futuro más verde y tecnológicamente avanzado.(Plan Maestro Ferroviario, 2020)

La consolidación de políticas claras y regulaciones precisas es fundamental para garantizar un transporte ferroviario seguro, eficiente y ecológico, estableciendo las bases para el éxito sostenido del proyecto ferroviario a largo plazo. La importancia de actualizar y modernizar el marco legal que rige el sector ferroviario es evidente en el proyecto de ley 337, que busca reemplazar la centenaria ley 76 de 1920, adaptando la legislación a las necesidades y desafíos contemporáneos del transporte ferroviario (García Alicastro, 2022). Este esfuerzo normativo refleja un compromiso profundo con el progreso y la sostenibilidad, poniendo de manifiesto la crucial interacción entre políticas públicas bien diseñadas y el desarrollo efectivo del transporte ferroviario en Colombia. Al mirar hacia el futuro, con planes como los anunciados por el gobierno central y articulados a través de iniciativas legislativas actuales, Colombia se posiciona en la vanguardia de la innovación en transporte ferroviario, apuntando a un horizonte donde los trenes vuelven a ser protagonistas del desarrollo nacional y la conectividad.

4.1.10 Perspectivas futuras para los ferrocarriles en Colombia

Las perspectivas futuras de los ferrocarriles en Colombia se perfilan no solo como prometedoras sino transformadoras, condicionadas al seguimiento de estrategias meticulosamente planificadas y la implementación de políticas coherentes y efectivas. En el horizonte establecido hacia el 2050 (ANI, 2023), la modernización y expansión proyectadas de la red ferroviaria tienen el potencial de redefinir a Colombia como un líder en eficiencia de transporte multimodal a nivel regional. Este avance no solo augura un impulso significativo al crecimiento económico del país, sino que promete mejorar sustancialmente la calidad de vida de sus habitantes, ofreciendo alternativas de movilidad más accesibles, rápidas y seguras (Plan Maestro Ferroviario, 2020).

Más allá de los beneficios económicos y sociales inmediatos, el transporte ferroviario se erige como una pieza angular en el compromiso de Colombia con la sostenibilidad y la competitividad económica en el largo plazo. La visión gubernamental de revitalizar y expandir la infraestructura ferroviaria (Plan Maestro Ferroviario, 2020), articulada a través de iniciativas como la prometida expansión de la red hasta alcanzar 5.400 kilómetros para

el año 2050 (ANI, 2023) , refleja un entendimiento profundo de la necesidad de transitar hacia modelos de desarrollo más sostenibles y económicamente inclusivos.

La inversión en infraestructura ferroviaria, junto con la integración de tecnologías avanzadas y la promoción de prácticas de transporte que prioricen la sostenibilidad, constituye la piedra angular sobre la cual se construirá el éxito futuro de los ferrocarriles en Colombia. El apoyo continuo a la investigación y la innovación en el sector ferroviario, así como la colaboración estratégica entre el sector público y privado (alianzas público-privadas APP y cooperación internacional), serán indispensables para materializar la visión de un sistema ferroviario que no solo cumpla con las expectativas de eficiencia y sostenibilidad, sino que también contribuya de manera significativa a la cohesión social y territorial del país (Ministerio de Transporte, 2023a).

Así, con la correcta articulación de políticas públicas, inversión y colaboración intersectorial, los ferrocarriles en Colombia están destinados a convertirse en un ejemplo de cómo la modernización y la sostenibilidad pueden andar de la mano, marcando el camino hacia un futuro donde el transporte ferroviario sea sinónimo de innovación, inclusión, progreso y desarrollo sostenible (Ministerio de Transporte, 2024).

4.2. Marco Teórico

El documento titulado "La Teoría Macroeconómica y la Crisis" de Víctor A. Beker, profesor en la Universidad de Belgrano y la Universidad de Buenos Aires, realiza una crítica profunda sobre la capacidad de la teoría macroeconómica ortodoxa para prever y manejar las crisis financieras y económicas, destacando la crisis de 2008. El autor argumenta que esta crisis subrayó las limitaciones de la confianza en la autorregulación de los mercados y la racionalidad de los agentes económicos. Además, revisa la evolución histórica de la macroeconomía desde sus bases keynesianas hasta la influencia de la crítica de Lucas, centrándose en la necesidad de una base microeconómica sólida (Beker, 2011, p. 22)

Beker empieza su análisis señalando que la macroeconomía, como campo de estudio, surgió enfocada en los agregados económicos debido a los trabajos de Keynes, quien se concentró en las variables agregadas y sus interacciones más allá de los precios. Sin

embargo, con la llegada de la crítica de Lucas en los años setenta, se promovió la idea de que la macroeconomía debía fundamentarse en comportamientos microeconómicos sólidos (Beker, 2011, p. 23). El autor también critica la Nueva Macroeconomía Clásica por su suposición de mercados siempre en equilibrio y agentes con expectativas racionales, lo que, a su juicio, limita la capacidad de este enfoque para abordar y resolver crisis económicas como la de 2008. Utilizando ejemplos como la interpretación de la Gran Recesión por parte de economistas neoclásicos, Beker muestra cómo esta perspectiva puede llevar a conclusiones poco realistas y alejadas de los problemas macroeconómicos fundamentales (Beker, 2011, p. 25).

En cuanto a la respuesta de la macroeconomía tradicional a las crisis, Beker critica sus herramientas analíticas y políticas económicas. Resalta cómo la crisis financiera de 2008 evidenció fallos significativos en la macroeconomía, especialmente en términos de previsión y manejo de crisis profundas. No obstante, menciona que se aplicaron lecciones aprendidas de crisis anteriores, como la Gran Depresión, para evitar un colapso total (Beker, 2011, p. 26).

Finalmente, se aboga por un retorno a los enfoques keynesianos, en los que se reconoce que los mercados no siempre se autorregulan hacia el pleno empleo y que “el estado debe jugar un rol activo en la economía”. Destaca la importancia del gasto en inversión como determinante del nivel de producción y empleo y critica la tendencia de la teoría macroeconómica contemporánea de ignorar el desempleo involuntario y los fallos del mercado (Beker, 2011, pp. 28–30). En su artículo Beker sostiene que los eventos de 2008 revelaron deficiencias significativas en la teoría macroeconómica ortodoxa y en su capacidad para gestionar desequilibrios económicos severos. Además, se insiste en la necesidad de revisar y revitalizar las ideas keynesianas, otorgando más importancia a las políticas de estabilización económica y reconociendo la imposibilidad de prever con exactitud crisis de gran envergadura, lo que subraya la necesidad de contar con herramientas macroeconómicas más flexibles y realistas (Beker, 2011, pp. 32–34).

De otro lado en el artículo “Reformas Microeconómicas, Política Macroeconómica y Crecimiento: El Caso de México”, Jaime Ros ofrece un análisis crítico sobre el desempeño económico de México desde la década de 1980 hasta el año 2008, argumentando que el bajo crecimiento económico del país no se debe a la falta de reformas microeconómicas,

sino más bien a la implementación de políticas macroeconómicas inadecuadas. A través de cuatro secciones principales, este autor sugiere una revisión de la política macroeconómica mexicana como medio para revitalizar el crecimiento económico (Ros, 2010, p. 137).

Ros documenta el mediocre desempeño económico de México, destacando que desde 1982, el crecimiento del PIB per cápita ha sido notablemente bajo comparado con el periodo de 1940 a 1981. También señala que México no ha logrado converger con las economías industrializadas avanzadas, y ha quedado atrás incluso comparado con otras regiones en desarrollo como el este de Asia y Asia del sur (Ros, 2010, p. 138). El documento se centra en la relación entre las reformas estructurales y el crecimiento económico, cuestionando la eficacia de las reformas microeconómicas implementadas, como la apertura comercial, la liberalización de flujos de capitales y la privatización. Ros sostiene que estos cambios no han mejorado significativamente el desempeño económico de México y que repetir las mismas políticas no necesariamente resultará en un crecimiento económico más robusto. Además, critica la idea de que la rigidez en el mercado laboral y las deficiencias en el sistema educativo sean las principales barreras para el crecimiento, y presenta evidencia que sugiere otros factores como causantes del estancamiento económico (Ros, 2010, p. 139).

Adicionalmente afirma que el lento crecimiento económico de México se debe más a políticas macroeconómicas deficientes, incluyendo la caída de la inversión pública, la apreciación del tipo de cambio real y una tendencia hacia políticas macroeconómicas procíclicas. Propone reformas en las políticas fiscal, monetaria y cambiaria, abogando por una mayor inversión en infraestructura y la adopción de políticas fiscales contra cíclicas que eviten la apreciación cambiaria y promuevan un tipo de cambio real competitivo (Ros, 2010, p. 140).

De otro lado, reflexiona sobre la crisis económica y financiera internacional de finales de la década de 2000 y sus efectos en México, destacando que, a pesar de la severidad de la crisis, también se presentan oportunidades para reformar las políticas macroeconómicas del país. Critica la respuesta fiscal conservadora de México frente a la crisis, comparándola con las medidas más agresivas adoptadas en otros países de la OCDE, y sugiere que México tiene el espacio fiscal necesario para emprender acciones más audaces (Ros,

2010, p. 141). El documento concluye desafiando la noción prevalente de que las reformas microeconómicas son el camino hacia el crecimiento económico en México, y argumenta a favor de reformas macroeconómicas significativas que podrían cambiar radicalmente el rumbo de la economía mexicana hacia un desarrollo más acelerado y sostenible.

Por lo anterior y enfocando estos análisis al presente trabajo de investigación enfocado en Colombia, estos conceptos de macro y microeconomía son altamente relevantes para la investigación que se está desarrollando, ya que permiten entender cómo las políticas económicas pueden influir en el desarrollo y la sostenibilidad de infraestructuras críticas como los ferrocarriles en Colombia. La necesidad de una base macroeconómica estable y de reformas microeconómicas adecuadas se refleja en la capacidad de Colombia para revitalizar su sistema ferroviario, impulsando el crecimiento económico y mejorando la equidad social. Así, el análisis de las teorías macroeconómicas y microeconómicas proporciona un marco integral para abordar los desafíos y oportunidades en la mejora de las redes de transporte, fundamental para el desarrollo económico del país. (Lindsey et al., 2011)

Es así como Vargas-Hernández, hace una revisión exhaustiva de las principales teorías del desarrollo económico, incluyendo la dependencia, modernización, neo-institucionalismo, sistema mundo, sustentabilidad y globalización. Donde no solo ofrece una reflexión crítica sobre estos enfoques, sino que también sugiere la necesidad de reformular las políticas de desarrollo económico en un marco que realce el papel del Estado en complemento de los mercados, promoviendo la justicia social y la calidad de vida (Vargas Hernández, 2008, p. 109), los cuales se pueden ajustar y acotar al contexto colombiano.

En este contexto, es pertinente destacar que la teoría del desarrollo económico, particularmente el neo-institucionalismo, se erige como un referente significativo para abordar los retos actuales en la formulación de políticas públicas en Colombia. Esta teoría subraya la importancia de las instituciones y su capacidad para influir en el comportamiento económico, sugiriendo que un marco institucional robusto puede ser la clave para impulsar el desarrollo sostenible y equitativo (North, 1990, p. 67). Además, el neo-institucionalismo destaca que las instituciones, tanto formales como informales, configuran las decisiones y comportamientos económicos de los actores sociales. Esta perspectiva es especialmente

relevante para la presente investigación, ya que plantea que, para alcanzar un desarrollo económico sostenible en Colombia, es fundamental fortalecer las instituciones estatales y promover una gobernanza efectiva (DiMaggio & Powell, 1983, p. 149).

Por lo tanto, al analizar cómo las instituciones pueden facilitar o limitar el desarrollo, esta teoría proporciona un marco conceptual sólido para diseñar políticas que aborden tanto las deficiencias estructurales como las desigualdades sociales (Scott, 2001, pp. 272–273). En consecuencia, el enfoque neo-institucionalista no solo enriquece el análisis teórico de la investigación, sino que también ofrece una hoja de ruta práctica para implementar reformas que promuevan el bienestar económico y social en el país.

Así pues, se puede concluir que la aplicación del neo-institucionalismo en la investigación de desarrollo económico en Colombia no solo es pertinente, sino necesaria para lograr un progreso equitativo y sostenible. Esta teoría ofrece herramientas conceptuales y prácticas para abordar los desafíos del desarrollo, destacando la importancia de las instituciones en la configuración de un entorno económico favorable para todos los sectores de la sociedad (Olsen, 1989, p. 105).

La Teoría de la Modernización define el desarrollo como un proceso evolutivo hacia la modernidad, a menudo criticada por sus preconcepciones eurocéntricas y por no prever otras consecuencias negativas de la modernización global. En el contexto de Colombia, esta teoría podría analizarse para entender cómo los intentos de modernizar el país a través de la infraestructura ferroviaria pueden caer en trampas similares si no se consideran las especificidades locales y las dinámicas sociales únicas del país cosa que ya sucedió en el pasado y llevo a la liquidación de los ferrocarriles nacionales a principios de los años 90. (Escobar, 2011)

Por su parte, la Teoría de la Dependencia enfatiza la influencia negativa del colonialismo y el capitalismo occidental sobre los países en desarrollo, proponiendo un desarrollo centrado en mercados internos y en el fortalecimiento de sectores industriales nacionales. Esto es particularmente relevante para Colombia, ya que el país ha experimentado históricamente formas de dependencia económica. Al revitalizar los ferrocarriles, podría explorarse cómo esta infraestructura puede reducir la dependencia externa y fortalecer la economía interna (Vargas Hernández, 2008, p. 113) .

De igual manera, la Teoría del Sistema Mundo analiza el desarrollo en el contexto de un sistema global capitalista que jerarquiza las economías en centro, periferia y semiperiferia, explicando cómo este sistema global afecta el desarrollo de los países. En la investigación, esta teoría podría utilizarse para comprender el papel de Colombia dentro de la economía global y cómo la mejora de su infraestructura ferroviaria podría alterar su posición en esta jerarquía. En la investigación de la cual trata este trabajo, esta teoría podría utilizarse para comprender el papel de Colombia dentro de la economía global y cómo la mejora de su infraestructura ferroviaria podría alterar su posición en esta jerarquía. Esta comprensión ayudará a posicionar mejor el proyecto ferroviario dentro de la economía global, maximizando sus beneficios estratégicos. De otro lado en el ámbito microeconómico, es esencial considerar cómo el desarrollo de la infraestructura ferroviaria influye directamente en la economía local y en la vida cotidiana de los ciudadanos. (Martins, 2011)

La mejora de los ferrocarriles puede reducir costos logísticos, facilitar el acceso a mercados tanto nacionales como internacionales, aumentar la competitividad de las empresas locales y generar empleo como sucede con el caso del municipio de Cisneros en el departamento de Antioquia caso que, se estudiará más adelante en este trabajo de investigación y que se deja como anexo para más detalle. Además, al mejorar la conectividad y accesibilidad, se pueden reducir las disparidades regionales, fomentando un desarrollo más equilibrado y equitativo en todo el país. Por lo tanto, la integración de perspectivas microeconómicas es crucial para diseñar políticas que impulsen tanto el crecimiento económico nacional como el desarrollo social y económico de las comunidades locales (M. T. Ramírez, 2001).

Destacar la importancia de las estructuras institucionales en el desarrollo, criticando las fallas de los mecanismos estatales y proponiendo un estado fuerte pero limitado para garantizar el desarrollo económico, es el objetivo central de la Teoría Neoinstitucional. Esta teoría es crucial para la investigación, ya que sugiere que el éxito de la revitalización del sistema ferroviario dependerá en gran medida de la solidez de las instituciones colombianas y de su capacidad para implementar y gestionar eficientemente estos proyectos (Vargas Hernández, 2008, p. 114).

Por su parte, la Teoría de la Globalización que examina cómo la globalización, impulsada por avances tecnológicos, moldea el desarrollo económico, político y social, a menudo aumentando la desigualdad y la dependencia económica. En este contexto, la investigación podría explorar cómo la modernización de la infraestructura ferroviaria en Colombia se inserta en los procesos de globalización y cómo puede mitigar sus efectos negativos al fomentar un desarrollo más equitativo. El Desarrollo Sustentable propone un modelo que equilibre el crecimiento económico con la equidad y la conservación del medio ambiente, enfatizando la importancia de considerar el bienestar de las futuras generaciones. Esta teoría es directamente aplicable a la presente investigación, ya que la revitalización de los ferrocarriles debe alinearse con principios de sostenibilidad, asegurando que los beneficios económicos no vengan a costa del medio ambiente ni de la justicia social (Vargas Hernández, 2008, p. 115).

El desarrollo, como enfatiza Vargas-Hernández, debe ser entendido como un proceso multidimensional que integre aspectos económicos, sociales, políticos, culturales, espirituales y ambientales. El autor critica la falta de sistematización y la excesiva orientación hacia el crecimiento económico de muchas teorías, abogando por un enfoque que involucre una reformulación de las políticas de desarrollo para alcanzar niveles más altos de justicia social y calidad de vida. En su análisis, se recalca la necesidad de fortalecer la gobernabilidad y la democracia, promoviendo un desarrollo equitativo y sostenible que responda a las necesidades de la población y preserve los recursos para futuras generaciones. Destaca, además, el papel esencial del Estado en la coordinación de estos esfuerzos (Vargas Hernández, 2008, pp. 115–116).

Es importante resaltar la importancia de un desarrollo multidimensional, algo que tiene resonancia particular en Colombia, donde desafíos como la disparidad regional, el conflicto interno prolongado y la necesidad de una integración económica más equitativa representan claras llamadas a un desarrollo que va más allá del crecimiento del Producto Interno Bruto. La inclusión de aspectos sociales, políticos y ambientales en las políticas de desarrollo económico se vuelve imperativa (Vargas Hernández, 2008, p. 112).

Ahora bien, la reflexión que hace Beker sobre la capacidad de la macroeconomía para manejar crisis, junto con la crítica a su dependencia de la autorregulación de los mercados, es especialmente relevante para Colombia, un país que ha enfrentado volatilidad en los

precios de sus principales exportaciones y desafíos en la gestión de flujos de capital y la inflación. La crisis financiera de 2008 destaca la importancia de herramientas macroeconómicas flexibles y políticas proactivas que puedan estabilizar la economía y promover un crecimiento sostenible (Beker, 2011, p. 48), porque el análisis que hace Ros sobre México subraya una verdad importante para Colombia: las reformas microeconómicas, aunque necesarias, no son suficientes para impulsar el crecimiento económico sin el respaldo de una sólida política macroeconómica (Ros, 2010).

Claramente, la experiencia de México con la liberalización y la apertura económica sin un marco macroeconómico adecuado es una advertencia clara para Colombia, que también busca reformas estructurales para desbloquear su potencial de crecimiento (Ros, 2010, p. 123).

Tomando en cuenta las lecciones de estos artículos, es claro que no se trata solo de elegir entre enfoques macro o microeconómicos, sino de reconocer la necesidad de una estrategia integrada que combine ambas perspectivas. La macroeconomía, con su énfasis en políticas fiscales, monetarias y de tipo de cambio, proporciona el marco general dentro del cual la economía opera, mientras que las reformas microeconómicas pueden impulsar la eficiencia, la competitividad y la innovación (Ros, 2010, p. 126). Por lo tanto, es crucial desarrollar políticas que aborden ambos aspectos de manera complementaria para alcanzar un desarrollo económico sostenible en Colombia.

4.3. Marco conceptual

Con el fin de guiar al lector de la presente investigación, por una ruta que le permita entender hacia dónde se lleva el estudio se desarrolla un marco conceptual en el que se define y se resaltan los conceptos clave que se trabajarán en el presente documento, por ello se define los conceptos asociados a crecimiento y desarrollo económico, tipos de energías usadas en el sector ferroviario, los sistemas alternativos de energía, tipos de trochas para el sistema ferroviario y los sistemas ferroviarios existentes en el mundo y su posible aporte a la economía colombiana.

4.3.1 Crecimiento Económico vs. Desarrollo Económico

El crecimiento económico y el desarrollo económico son conceptos relacionados, pero distintos, que desempeñan un papel clave en la evaluación del progreso de un país (Smith & Todaro, 2020, pp. 116–120).

Crecimiento Económico

El crecimiento económico se refiere al aumento sostenido de la capacidad de una economía para producir bienes y servicios a lo largo del tiempo. Generalmente, se mide a través de indicadores cuantitativos, como el Producto Interno Bruto (PIB) o el ingreso per cápita. Es un indicador clave de la expansión económica, pero no necesariamente refleja mejoras en la calidad de vida de la población ni en la distribución de la riqueza (Smith & Todaro, 2020, pp. 257–258).

Desarrollo Económico:

Por otro lado, el desarrollo económico tiene una visión más amplia y cualitativa. Incluye mejoras en la calidad de vida, la educación, la salud, la sostenibilidad ambiental y la equidad social. Se enfoca en el bienestar general de la sociedad, integrando factores como la reducción de la pobreza, el acceso a servicios básicos, y el desarrollo sostenible a largo plazo (Smith & Todaro, 2020, pp. 640–645).

Relación con el Sistema Ferroviario en Colombia:

El sistema ferroviario colombiano tiene el potencial de contribuir tanto al crecimiento como al desarrollo económico del país. Desde la perspectiva del crecimiento económico, la modernización de la infraestructura ferroviaria puede aumentar la eficiencia del transporte de carga, reducir costos logísticos y estimular la actividad económica en sectores clave, como la agricultura y la minería. En términos de desarrollo económico, los ferrocarriles pueden desempeñar un papel fundamental al conectar regiones remotas con centros urbanos, facilitando el acceso a servicios esenciales y oportunidades económicas (OCDE et al., 2013, pp. 16, 142, 145, 153).

Además, la reducción de emisiones de carbono y el impulso al turismo ferroviario contribuyen a la sostenibilidad y al bienestar social, factores esenciales del desarrollo económico. Diferenciar estos conceptos en el contexto colombiano permite una comprensión más precisa del impacto potencial de los ferrocarriles, alineando los objetivos del sistema ferroviario con una visión integral del progreso económico y social.

4.3.2. Relevancia Económica y Social del Transporte en Colombia

El sector transporte es un componente fundamental en la economía colombiana, contribuyendo de manera significativa al Producto Interno Bruto (PIB) y generando empleo en diversas modalidades. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el segundo trimestre de 2023, el sector transporte, almacenamiento y comunicaciones aportó un 6.48% al PIB nacional (DANE, 2024a). En este contexto, el transporte terrestre, que incluye el modo carretero y el ferroviario, resulta esencial para la movilidad de bienes y personas (BID, 2021, pp. 65–66).

En cuanto al empleo, el sector transporte es un importante generador de puestos de trabajo. La Encuesta Anual de Servicios (EAS) del DANE indicó que, en 2021, las actividades de transporte y almacenamiento emplearon a más de 800,000 personas, reflejando la incidencia directa del sector en la dinámica laboral del país (DANE, 2024b).

Inversiones en Infraestructura Ferroviaria y Transporte Multimodal

En las últimas décadas, Colombia ha invertido de manera constante en el mejoramiento de la infraestructura de transporte. El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 traza una ruta para cerrar brechas en infraestructura bajo los principios de equidad, cobertura y conectividad, asegurando que la población acceda a la oferta social del Estado (Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, 2023). Estas inversiones incluyen la priorización del modo férreo por parte del Ministerio de Transporte, destinando al menos el 5% del Presupuesto General de la Nación de inversión sectorial a su desarrollo desde 2020 (ANI, 2023).

Tabla 3. Carga movilizada vs Inversión – Modo carretero y férreo

Año	Carga modo ferroviario (%)	Carga modo carretero (%)	Inversión modo ferroviario (%)	Inversión modo carretero (%)
2010	25	70	2	65
2011	26	68	4	70
2012	26	69	2	78
2013	24	72	1	68
2014	15	85	4	70
2015	17	78	5	80
2016	20	79	1	82
2017	19	81	4	75
2018	17	83	5	80
2019	17	83	2	85
2020	14	86	2	90
2021	12	88	2	89

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja la línea de tiempo desde el 2010 hasta el 2021 en el transporte de carga y la inversión en vías carretables y ferrocarriles en Colombia (ANI, 2023) (Ministerio de Transporte, 2023b).*

La estrategia se orienta a fortalecer la intermodalidad, es decir, la integración eficiente de diferentes modos de transporte (carretero, férreo, fluvial, aéreo, marítimo) para reducir costos logísticos, mejorar la conectividad entre centros de producción y consumo, dinamizar las economías regionales y diversificar la matriz de transporte de carga (CAF, 2024) (OCDE et al., 2013) . El impulso a la intermodalidad fomenta la complementariedad entre el modo carretero y el férreo, buscando reducir la dependencia del primero y aprovechando las ventajas competitivas del ferrocarril en cuanto a eficiencia energética y capacidad de carga.

Diferenciando Crecimiento y Desarrollo Económico

El crecimiento económico hace referencia al aumento sostenido de la capacidad de una economía para producir bienes y servicios, usualmente medido por el PIB o el ingreso per cápita (World Bank, 2022) (Barro & Sala-i-Martin, 2004). Sin embargo, el crecimiento no garantiza mejoras en la distribución de la riqueza ni en la calidad de vida.

El desarrollo económico, por otro lado, es un concepto más amplio y cualitativo, que incluye aspectos como la educación, la salud, la sostenibilidad ambiental, la equidad social y el acceso a servicios básicos (UNDP, 2020) (Smith & Todaro, 2020). De este modo, el desarrollo busca el bienestar integral de la sociedad, la reducción de la pobreza y la justicia social, alineando el progreso económico con la sostenibilidad y la equidad.

Relación con el Sistema Ferroviario en Colombia

El sistema ferroviario colombiano puede contribuir tanto al crecimiento como al desarrollo económico del país. Desde el punto de vista del crecimiento, la modernización de la infraestructura férrea y un aumento en la eficiencia del transporte de carga pueden disminuir los costos logísticos en un 15-20%, mejorando la competitividad de las cadenas de suministro y facilitando el comercio interno y externo (Ministerio de Transporte, 2023b) (OCDE et al., 2013). La diversificación de la matriz de transporte reduce la dependencia del modo carretero, mitiga vulnerabilidades ante el alza de costos de combustible o interrupciones viarias y estimula la inversión privada.

En lo que respecta al desarrollo, el transporte ferroviario puede mejorar la conectividad de regiones periféricas, facilitando el acceso a servicios básicos (educación, salud, mercados) y reduciendo los tiempos de desplazamiento hasta en un 30% (ANI, 2023). Estos factores elevan la percepción de bienestar, fomentan la integración social y amplían las oportunidades laborales, contribuyendo a la equidad regional y la calidad de vida de las comunidades (CEPAL, 2014; UNDP, 2020).

Tabla 4. Evolución Histórica del Transporte en Colombia (Siglo XX - XXI)

Indicador / Época	1950* (aprox.)	1970* (aprox.)	1990* (aprox.)	2010** (estimación)	2020** (estimación)
Extensión de la red ferroviaria (km)	~3,300	~2,500	~1,700	~1,100 (rehabilitación parcial)	~1,300 (expansión parcial)
Extensión de la red vial nacional (km)	~20,000	~40,000	~90,000	~170,000	~200,000
% transporte de carga por carretera (%)	~60%	~70%	~85%	~80% (inicios diversificación modal)	~75% (ligero aumento férreo)
% transporte de carga por ferrocarril (%)	~35% (apogeo)	~20% (declive)	~5% (residual)	~7% (reactivación)	~10% (interés férreo)
Pasajeros férreos (millones/año)	~10	~5	~1	~2 (turismo/suburbano)	~4 (turismo/proyectos urbanos)
Inversiones férreas (millones USD const.)	N/D	~20 (mínimas)	~10 (básicas)	~100 (rehabilitación)	~200 (modernización)
Reducción en costos logísticos (%)	N/D	N/D	N/D	~10% (proyectos piloto)	~15-20% (consolidación férrea)

Fuente: Elaboración propia. *Nota: En esta tabla 4 se presenta una visión histórica y aproximada de la evolución del transporte en Colombia a lo largo del siglo XX y XXI. Los datos del siglo XX se presentan como estimaciones orientativas (no cifras oficiales exactas), derivadas de análisis históricos, informes de época y estudios de la CEPAL (OCDE et al., 2013) y la misión Currie en Colombia (Currie, 1950). Los datos del siglo XXI se basan en estadísticas oficiales y estimaciones de organismos nacionales e internacionales (Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, 2023) (Ministerio de Transporte, 2023b) (World Bank, 2022), (BID, 2021)*

**Datos del siglo XX: estimaciones con fines ilustrativos*

***Datos del siglo XXI: mayor respaldo estadístico, pero aún estimaciones*

N/D: No disponible.

4.3.3. Tipos de energía y motores usados en los ferrocarriles en el pasado y en la actualidad

El uso de diferentes tipos de energía y motores en los ferrocarriles ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo. A continuación, se describen algunos de los tipos de energía y motores utilizados en el pasado y en la actualidad:

4.3.3.1. Energía humana y de sangre

Durante los primeros pasos del hombre para el transporte de carga, habían trineos o carruajes que eran impulsados por la fuerza humana o por animales como caballos y burros, (Escobar Muriel, 2008, p. 30) y en algunas otras zonas del mundo perros y lobos. Estos métodos eran lentos e ineficientes, lo que limitaba el alcance del transporte y hacía que grandes distancias tomaran días e incluso semanas. En algunos casos con el desarrollo de la minería, los trabajadores empujaban trineos para mover sus cargas, mientras que, en otros, se utilizaban sistemas de poleas y cables operados por trabajadores (Fonseca et al., 2015, p. 14). En las minas de carbón, los carros de materiales eran arrastrados por animales como caballos. Aunque se desconoce quién inventó la tracción animal en los sistemas de carga con animales, esta técnica se utilizaba desde tiempos muy antiguos (railsiferraduras, 2021).

4.3.3.2. El vapor como fuente de movimiento

Para la década de 1800, la invención de la locomotora de vapor revolucionó la industria ferroviaria (Brown, 2006). Estas locomotoras usaban la combustión del carbón o madera para generar vapor, que a su vez impulsaba los pistones y las ruedas del tren. Este tipo de máquinas se le conocen como motores de vapor con pistones reciprocantes (AcademiaLab, 2023). A pesar de que las locomotoras de vapor eran poderosas y rápidas, requerían mucho mantenimiento y combustible (madera y/o carbón), lo que las hacía costosas de operar (Álvarez Lete, 2002). El motor de vapor fue el primer motor que se utilizó en los ferrocarriles a gran escala.

El vapor se genera calentando agua en una caldera hasta que se convierte en vapor de alta presión. Este vapor se utiliza para impulsar un motor de pistón, que a su vez

mueve las ruedas del tren. El inventor del motor de vapor para ferrocarriles es George Stephenson, quien construyó la primera locomotora comercialmente exitosa en 1829 y que se llamó la Rocket, que era una locomotora de vapor, con la caldera que es el corazón de la máquina, ya que es donde se produce el vapor que impulsa los pistones y, a su vez, hace girar las ruedas. La caldera consiste en un recipiente cerrado y resistente que se llena con agua y se calienta a temperaturas muy altas para producir vapor (Brown, 2006, pp. 35–37).

Para calentar el agua, se utilizaba una variedad de combustibles, como carbón y/o leña. El combustible se quema en un fuego que se encuentra debajo de la caldera, y las llamas y los gases calientes pasan por tubos que se encuentran dentro de la caldera. Estos tubos están rodeados de agua y el calor de los gases los calienta, transfiriendo el calor al agua (AcademiaLab, 2024).

La alta presión del vapor se genera cuando el agua se convierte en vapor y se acumula en la parte superior de la caldera. Esta presión se puede controlar mediante una válvula de seguridad llamada "válvula de seguridad de la caldera", que libera vapor si la presión es demasiado alta. El vapor generado en la caldera se dirige hacia los pistones a través de una tubería, y el movimiento del vapor hace que los pistones se muevan hacia adelante y hacia atrás dentro de cilindros especiales. La acción de los pistones se transmite a las ruedas a través de un mecanismo de biela y manivela, lo que hace que las ruedas giren y la locomotora se mueva hacia adelante o en algunos casos hacia atrás (Simmens & Goldfinch, 2000).

4.3.3.3. Fueloil o combustóleo

En el siglo XX, los motores de combustión interna comenzaron a reemplazar a las locomotoras de vapor. En los primeros años, se utilizaba gasoil o combustóleo como combustible para este tipo de motores, que eran más eficientes y menos costosos de operar que los sistemas de vapor. Sin embargo, hubo locomotoras de vapor que fueron migradas del uso de carbón a combustible gasoil para seguir operándolas y alargar su vida útil (Kerr Jr., 1944). Durante el siglo XX algunas compañías ferroviarias modificaron locomotoras de vapor para que pudieran usar gasoil en lugar de carbón como combustible (Churella, 1998, pp. 14–18).

Esta práctica se hizo más común entre las décadas de 1920 y 1950, especialmente en países como Estados Unidos y Canadá. Esto permitió que las compañías ferroviarias prolongaran la vida útil de sus locomotoras de vapor hasta antes de la aparición de las locomotoras diésel, al mismo tiempo que obtenían algunos de los beneficios de los motores de combustión en la caldera, como una mayor eficiencia térmica y menor costo operativo al no tener que usar carbón (Churella, 1998, pp. 18–22). En Colombia cuando los distintos ferrocarriles del país se unieron la nueva compañía ferrocarriles nacionales después de 1950, mucho del material rodante a carbón migró a esta tecnología hasta la liquidación de la compañía en 1991 (Bateman Quijano, 2005).

A este tipo de locomotoras se les conocía como "oil burner" y se refiere a una caldera que quema aceite como combustible en lugar de carbón o madera. En las locomotoras de vapor, el combustible se quema en la caldera para producir vapor que luego se utiliza para impulsar los pistones y hacer girar las ruedas. Las locomotoras que queman aceite como combustible tienen una caldera modificada con un quemador de aceite que atomiza el combustible y lo mezcla con aire antes de ser quemado. Esto permite una combustión más eficiente y una mayor producción de vapor en comparación con las locomotoras que queman carbón. El uso de aceite como combustible también permite una operación más limpia y eficiente, ya que no hay cenizas o humo producido por la quema de carbón. Además, en otros lugares del mundo, como en Sudáfrica, India, Reino Unido se llegó a trabajar con la fueloil en lugar de carbón en locomotoras de vapor (Simmens & Goldfinch, 2000)

4.3.3.4. Diésel y movimiento

A partir de la década de 1930, los motores diésel comenzaron a ser ampliamente utilizados en la industria ferroviaria, ya que demostraron ser más potentes y eficientes en comparación con los motores de vapor con fueloil o carbón. Los motores diésel permitieron a los trenes alcanzar velocidades más elevadas y transportar cargas más pesadas en comparación con los sistemas de vapor (Churella, 1998, pp. 40–43).

Los motores diésel son motores de combustión interna y difieren en su funcionamiento a los motores de vapor de fueloil o carbón, pero utilizan un combustible de aceite más

refinado que se conoce como diésel. La distinción principal radica en que el combustible diésel posee un punto de inflamación más bajo, lo que permite una combustión más eficiente. Los motores diésel gozan de una mayor eficiencia en comparación con los motores de fueloil o combustóleo, lo que los convierte en la elección predominante en la actualidad incluso en otros sistemas de transporte. Es importante destacar que el inventor del motor diésel es Rudolf Diesel, quien obtuvo la patente de su invención en 1892 (Churella, 1998, p. 14).

La primera locomotora diésel del mundo fue operada en el verano de 1912 en el ferrocarril Winterthur-Romanshorn en Suiza. En 1906, Rudolf Diesel, Adolf Klose y el fabricante de motores de vapor y diésel Gebrüder Sulzer fundaron Diesel-Sulzer-Klose GmbH para la fabricación de locomotoras diésel. En 1909 (Gordon, 2016), el Ferrocarril Estatal de Prusia encargó una locomotora diésel a la empresa y, después de pruebas entre Winterthur y Romanshorn, la locomotora diésel-mecánica fue entregada en Berlín en septiembre de 1912. Tras el estallido de la Primera Guerra Mundial en 1914, se detuvieron todas las pruebas adicionales. (Academic, 2023).

Los motores diésel empezaron a ser populares en Norteamérica a partir de la década de 1940 y como reemplazo de las locomotoras a vapor (Churella, 1998, pp. 180–186).

Un motor diésel (Pervez, 2023) en una locomotora funciona de la siguiente manera:

- **Admisión de aire:** en el motor diésel de una locomotora, el proceso comienza con la admisión de aire al cilindro del motor. El aire es aspirado y dirigido al cilindro.
- **Compresión:** Una vez que el cilindro está lleno de aire, el pistón se mueve hacia arriba dentro del cilindro, comprimiendo el aire. La relación de compresión es alta en motores de locomotoras diésel, lo que significa que el aire se comprime significativamente antes de la ignición.
- **Inyección de combustible:** Luego, se inyecta el combustible diésel en el cilindro. La alta compresión del aire provoca un aumento de la temperatura en el cilindro. El combustible diésel se inyecta en este aire caliente y comprimido, y se enciende de inmediato debido a la alta temperatura. Esto es el encendido por compresión, una característica fundamental de los motores diésel.

- **Expansión y trabajo:** La explosión del combustible diésel empuja el pistón hacia abajo en el cilindro, creando una fuerza. Esta fuerza es la que impulsa el movimiento del pistón y hace girar el cigüeñal. El cigüeñal está conectado a las ruedas de la locomotora, y esa energía mecánica generada hace que la locomotora se mueva hacia adelante o en algunos casos hacia atrás.
- **Escape:** Después de que el pistón ha realizado su trabajo, los gases de escape se expulsan del cilindro a través de un sistema de escape. El ciclo se repite continuamente para mantener la locomotora en movimiento. La característica más importante de los motores diésel en locomotoras es su encendido por compresión, que les otorga eficiencia y par motor, lo que las hace adecuadas para el transporte ferroviario de cargas pesadas a largas distancias.(Pervez, 2023)

Es importante aclarar que hoy en día se siguen usando estos motores en combinación con generadores eléctricos en sistemas híbridos para locomoción

4.3.3.5. La electricidad en el mundo ferroviario

En este apartado se va a profundizar un poco más acerca de esta tecnología en sistemas ferroviarios, ya que es la base de la mayoría de los sistemas de tracción ferroviaria de la actualidad y pilar fundamental para los nuevos desarrollos de la ingeniería en sistemas alternativos de energía por su alta eficiencia en consumo de energía.

En algunas zonas, especialmente en ciudades densamente pobladas, los trenes eléctricos se convirtieron en una alternativa popular a los motores diésel o de gasoil. Estos trenes se alimentan de líneas de energía eléctrica aéreas, lo que les permite ser más silenciosos y no producir emisiones de gases de escape. Los trenes eléctricos funcionan mediante la utilización de motores eléctricos que son alimentados por una fuente de energía externa, como una catenaria o una tercera vía en los rieles (Nunno, 2018).

En lugar de quemar combustible para generar vapor o gas, los motores eléctricos utilizan la energía eléctrica para generar movimiento. Una locomotora eléctrica es una locomotora que utiliza en su sistema de tracción de ruedas motores eléctricos,

estos motores pueden ser de corriente continua o de corriente alterna, los cuales son alimentados por electricidad ya sea de líneas aéreas (catenarias), un tercer riel (AREMA, 2019) o dispositivos de almacenamiento de energía a bordo en sistemas híbridos, como baterías o supercondensadores (Destraz et al., 2004).

Las primeras locomotoras eléctricas fueron alimentadas con catenarias en corriente continua y su sistema de control del motor se basaba en la regulación de corriente de armadura por medio de reóstatos. Estos sistemas llegaron a tener voltajes de operación a 1500 voltios (Frey, 2012, pp. 31–35). El inventor del motor eléctrico es Michael Faraday, quien descubrió los principios del electromagnetismo en la década de 1820 y llevó a término el primer motor eléctrico en 1822. (The Royal Institution, 2023). Ya luego a mediados de los años 60 se implementa el uso de electrónica de estado sólido para el control de corriente en los motores haciendo uso de tiristores (SCR's) para así evitar el uso de interruptores mecánicos (Mohan et al., 1995, pp. 18–24).

No obstante, los motores en corriente continua a pesar de su gran torque de arranque y excepcional control de velocidad tenían la desventaja de que el motor necesitaba de escobillas para hacer pasar la corriente al rotor que cerraba el circuito de la armadura con el campo, lo que ocasionaba desgastes constantes tanto del colector como de las escobillas. A lo largo del tiempo, se han realizado mejoras en la tecnología y diseño de los motores eléctricos para aumentar su eficiencia y rendimiento en distintas aplicaciones, incluyendo su uso en los trenes (Hughes Austin & Drury, 2013). Además, Verner Von Siemens es uno de los inventores más destacados en el desarrollo del motor eléctrico utilizado en ferrocarriles. En 1879, fundó la compañía Siemens & Halske, que se convertiría después en líder mundial en la fabricación de sistemas de electrificación y quien es responsable hoy en día de la mayor parte de las líneas férreas electrificadas en Alemania que permite el uso de locomotoras duales (Siemens AG, 2024). Adicionalmente Siemens sería quien fuese también el inventor del primer tren electrificado del mundo con el tranvía de Gross-Lichterfelde, que se inauguró en Berlín, Alemania, en 1881 (Siemens AG, 1996), el cual funcionaba con corriente continua suministrada a través de los rieles. Con 5 metros de longitud, 2 metros de ancho y 4.8 toneladas de peso, y alcanzaba una velocidad máxima de 40 km/h y transportaba cómodamente a 20 personas. En solo tres meses, llevó a 12,000 pasajeros a su destino (D. Ramírez, 2023). Además, Siemens también inventó el primer tren eléctrico de

larga distancia en 1899, que fue utilizado en una línea de Marienfelde a Zossen en Alemania en una distancia de 23 Kilómetros (Dittler, 2024).

Es importante destacar que, si bien los motores eléctricos son una alternativa más limpia y eficiente que los motores diésel o de gasoil, su uso depende siempre de una fuente de energía externa. En algunos casos, la electricidad utilizada para alimentar los trenes puede provenir de fuentes de energía renovable como lo veremos en un apartado posterior de esta tesis, como la energía hidroeléctrica, solar o hidrógeno (Railway Gazette International, 2024).

Las locomotoras eléctricas son silenciosas en comparación con las locomotoras diésel, ya que no tienen ruido de motor ni emisiones de escape, y generan menos ruido mecánico (AENOR, 2024).

La ausencia de piezas en movimiento de vaivén significa que las locomotoras eléctricas son menos agresivas con la vía, lo que reduce el mantenimiento de la misma. Adicionalmente, estas máquinas hoy en día se benefician de la alta eficiencia de los motores eléctricos especialmente de los de inducción trifásicos, los cuales empezaron a ser populares desde la década de 1960 con la incursión de la electrónica de potencia ya que a menudo superan más del 95% de eficiencia esto sin tener en cuenta las ineficiencias en la generación de electricidad (República Argentina, 2017).

Además, se puede lograr una mayor eficiencia a través del frenado regenerativo, que permite recuperar la energía cinética durante el frenado y devolverla a la línea para ser reutilizada ya que el motor se convierte en un generador al momento del frenado. (Abad, 2017, p. 19). Las locomotoras eléctricas más nuevas utilizan sistemas de accionamiento de motor-inversor de corriente alterna que permiten el frenado regenerativo, este tipo de accionamientos se conocen como variadores de frecuencia (VFD's o VSD's por sus siglas en inglés) y que pueden ser de dos tipos:

- Variadores de frecuencia de 2 cuadrantes con resistencia de frenado dinámico: en estos sistemas la energía regenerada se disipa por medio de una resistencia de frenado dinámico que disipa la energía en calor. (Abad, 2017, p. 400).
- Variadores de frecuencia de 4 cuadrantes con sistema activo de regeneración AFE

(active front end por sus siglas en inglés): en otro este sistema la energía regenerada es devuelta al sistema eléctrico para ser reutilizada, es un desarrollo reciente que ha venido a ser usado en la práctica no hace más de 8 años. (Abad, 2017, p. 150)

La capacidad de las plantas de energía es mucho mayor que la que necesita cualquier locomotora individual, por lo que las locomotoras eléctricas pueden tener una potencia muy superior a las locomotoras diésel y pueden generar una potencia de arranque a corto plazo aún mayor para una aceleración rápida. Las locomotoras eléctricas son ideales para el servicio de trenes de cercanías y metros en ciudades con paradas frecuentes. También se utilizan en rutas de carga con volúmenes de tráfico consistentemente altos o en áreas con redes ferroviarias avanzadas (Journal, 2020).

Las plantas de energía, incluso si queman combustibles fósiles, son mucho más limpias que las fuentes móviles, como los motores de locomotoras. La energía también puede provenir de fuentes de bajas emisiones de carbono o renovables como lo son aerogeneradores o celdas fotovoltaicas, la energía geotérmica, hidroeléctrica, biomasa, solar, nuclear. En un apartado posterior de esta tesis se hablará de los sistemas alternativos como lo son los híbridos, sistemas con baterías e hidrógeno (REN21, 2024)

Las locomotoras eléctricas suelen costar un 20% menos que las locomotoras diésel, sus costos de mantenimiento son un 25-35% más bajos y cuestan hasta un 50% menos de operar. La principal desventaja de la electrificación es el alto costo de la infraestructura, como las líneas aéreas o el tercer riel en el suelo, las subestaciones y los sistemas de control. Por ejemplo, La política pública en los Estados Unidos obstaculiza la electrificación, ya que impone impuestos a la propiedad más altos a las instalaciones ferroviarias de propiedad privada si se electrifican (Brooks, 2023).

En Europa y otros lugares como Argentina que tiene un sistema de electrificación considerable en trenes, las redes ferroviarias se consideran parte de la infraestructura de transporte nacional, al igual que las carreteras, autopistas y vías navegables, por lo que a menudo son financiadas por el Estado. Los operadores de material rodante pagan tarifas según el uso de la vía. Esto hace posible las grandes inversiones necesarias para la electrificación, que son técnicamente y a largo plazo, también económicamente

ventajosas (International Energy Agency, 2019)

Es importante destacar que, si bien los motores eléctricos son una alternativa más limpia y eficiente que los motores diésel o de gasoil, su uso depende de una fuente de energía externa. En algunos casos, la electricidad utilizada para alimentar los trenes puede provenir de fuentes de energía renovable como lo veremos en un apartado posterior de esta tesis, como la energía hidroeléctrica, solar o hidrógeno. (Ricardo plc, 2023)

4.3.3.6. La combinación del Diesel y electricidad en el movimiento ferroviario

Las locomotoras con motores primarios que utilizan combustibles a bordo, como motores diésel como diésel-eléctricas y no como locomotoras eléctricas, ya que la combinación “generador/motor eléctrico” en estos casos sirve principalmente como un sistema de transmisión de energía a partir de la energía mecánica creada por un motor de combustión (The Railway Technical Website, 2019).

Hoy en día, la mayoría de los trenes utilizan combinaciones de motores diésel-eléctricos, especialmente los utilizados para el transporte de carga, que combinan un motor diésel con un generador eléctrico que alimenta los motores de tracción del tren. Este tipo de sistema es altamente eficiente y puede ser utilizado también tanto en locomotoras como en tranvías y trenes de cercanías donde no hay líneas electrificadas y es la opción técnico-económica más viable, no obstante, al ser su fuente primaria de energía un sistema de combustión las emisiones de carbono, material particulado y gases de efecto invernadero son muy altos y ocasionan el tener una huella de carbono mayor (González Franco, 2014).

Como se indicó anteriormente en el párrafo 4.3.1.4., los motores diésel son utilizados en las locomotoras. Los cuales poseen una eficiencia en el consumo mayor que un sistema de gasolina y “térmicamente hablando” una eficiencia del 20% mayor que un motor de gasolina. Esto implica un aumento en la economía de combustible y, por lo tanto, costos operativos más bajos en comparación con los motores de gasolina, lo cual por relación de costo beneficio los hace los motores de combustión más populares para los sistemas de carga. De otro lado, los motores diésel también tienen una vida útil más larga que los motores de gasolina debido a su funcionamiento a un ritmo de revoluciones por minuto

(RPM) mucho más bajo (Instituto Técnico de Automoción, 2022).

La locomotora diésel-eléctrica es un notable ejemplo de potencia e ingenio. Combina tecnología mecánica de alto rendimiento, que incluye un motor diésel de 4 tiempos de gran tamaño en configuraciones que pueden ir de 8 a 20 cilindros, con sistema de retroalimentación de gases de escape turbo cargado en potencias que pueden llegar hasta los 5000HP de potencia (Caterpillar, 2023), en conjunción con generadores eléctricos trifásicos que alimentan sistemas eléctricos de inversores y motores eléctricos acoplados al sistema de tracción, añadiendo adicionalmente sistemas de control automatizados tanto para el motor diésel, como el sistema electrógeno y el sistema eléctrico de tracción del tren.

Estas locomotoras pueden pesar entre 100 y 200 toneladas y están diseñadas para remolcar vagones de tren de pasajeros a velocidades de hasta 125 millas por hora (200 kilómetros por hora). Los motores modernos pueden generar hasta 6000 caballos de fuerza por troque, y el generador puede convertir esto en casi 6800 amperios de corriente eléctrica. Los motores de tracción utilizan esta electricidad para generar alrededor de 360,000 libras-pie de par motor. Además, cuentan con un motor diésel secundario y un generador que proporcionan energía eléctrica para el resto del tren (sistemas de compresores de aire para frenos, entre otros. Este generador es conocido como la unidad de energía frontal y genera entre 500 y 700 kilovatios (kW) de energía eléctrica. (Wabtec Corporation, 2023). Esta combinación de motor diésel y generadores eléctricos hace de la locomotora un vehículo híbrido.

Es importante destacar que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos regula las emisiones de escape en motores de locomotoras y marinos, y es un referente a nivel mundial en cuanto a emisiones atmosféricas, de manera similar a las regulaciones sobre emisiones de automóviles y camiones de carga, con el fin de limitar la cantidad de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y hollín emitidos por estas fuentes móviles de energía (Final Rule for Control of Emissions of Air Pollution From Locomotive Engines and Marine Compression-Ignition Engines Less Than 30 Liters per Cylinder , 2023). Dado que hoy en la actualidad la infraestructura ferroviaria para transporte de carga es de propiedad privada en muchos países y en algunos casos bajo en contrato de concesión, por tal motivo las compañías ferroviarias no están dispuestas

a realizar las inversiones necesarias para la electrificación de las líneas y hacer uso de trenes 100% eléctricos (Berman, 2023).

4.3.4. Los sistemas alternativos de energía en los trenes

Movimiento a gas

Los crecientes costos del diésel en América del Norte han llevado a las empresas ferroviarias a explorar el uso de gas natural licuado (GNL) como una alternativa más económica y respetuosa con el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos para reducir el consumo de combustible en los últimos 15 años, estos ferrocarriles todavía gastan una cantidad significativa en diésel. El GNL (gas natural licuado) ha surgido como una alternativa prometedora. Debido a su bajo costo y abundancia de gas natural en el mercado norteamericano, impulsado por el auge del petróleo y el gas de esquisto. Actualmente se está probando y haciendo verificaciones el uso de GNL en locomotoras, y algunos ferrocarriles están trabajando en la posibilidad de utilizar gas natural comprimido (GNC) como combustible. Se están investigando varios métodos para suministrar GNL a las locomotoras, pero todos requieren que el GNL sea vaporizado. Actualmente no existe tecnología para inyectar GNL directamente en los cilindros del motor (Raj, 2023).

En cambio, se utiliza metano gaseoso, no GNL, y se mezcla con diésel para su combustión por compresión. La mezcla de metano y diésel proporciona ahorros significativos en los costos de combustible y se están investigando varios métodos de suministro de alta y baja presión. Sin embargo, convertir completamente las locomotoras para que funcionen 100% con GNL sigue siendo un desafío debido a la necesidad de encendido por chispa en lugar de encendido por compresión, lo que requiere convertir los motores a un sistema de encendido electrónico e instalar sistemas con quemadores o bujías.

Además, se están evaluando diferentes tipos de tanques de combustible, como tanques de menor capacidad y tanques construidos específicamente para almacenamiento de gas. La seguridad de los tanques de GNL es una prioridad absoluta porque el gas natural es menos inflamable que el diésel o la gasolina por estar en forma líquida. Se han realizado pruebas piloto y se han desarrollado estándares industriales para el diseño y construcción de tanques de GNL en locomotoras y ya opera una locomotora con este tipo de

combustible (Rail Freight, 2021).

A pesar de los importantes costos y desafíos iniciales, la introducción del GNL como combustible ferroviario podría generar importantes ahorros en los costos de combustible. Algunos ferrocarriles importantes de América del Norte están considerando convertir sus locomotoras a GNL y se están realizando pruebas y ensayos para evaluar su viabilidad (Stagl, 2023). La transición no será completa ya que el diésel seguirá siendo un recurso económico en determinadas situaciones, pero la introducción de alternativas más limpias podría tener un impacto positivo en la eficiencia de los recursos en la industria ferroviaria. (International Energy Agency, 2019).

4.3.4.1. Movimiento con Hidrogeno

La principal ventaja de un motor de hidrógeno es que no emite gases de escape contaminantes, ya que el único subproducto de la combustión de hidrógeno es el agua (vapor). Esto lo hace especialmente atractivo en aplicaciones donde se requiere una movilidad sostenible y baja contaminación ambiental lo cual lo hace muy atractivo para sistemas de transporte de carga pesada como lo son las locomotoras. Sin embargo, la producción, el almacenamiento y la distribución de hidrógeno siguen siendo desafíos técnicos y logísticos importantes, por las altas presiones que se requieren para su almacenamiento. Un motor de hidrógeno es un tipo de motor de combustión interna que utiliza el hidrógeno como combustible primario. El hidrógeno es un elemento químico que puede ser utilizado como una fuente de energía altamente eficiente y limpia en aplicaciones de propulsión. Este tipo de motor opera a través de un proceso de combustión que involucra la reacción química del hidrógeno con el oxígeno del aire para generar energía mecánica que impulsa un vehículo u otra maquinaria por tracción mecánica (Ciniviz & Köse, 2012).

El proceso de funcionamiento de un motor de combustión interna de hidrógeno (Airbus, 2020) se puede dividir en varios pasos:

1. Almacenamiento y suministro de hidrógeno: el hidrógeno es almacenado en tanques de alta presión o en forma líquida. Luego, se suministra al motor cuando es necesario.

2. Entrada de aire: Al igual que en otros motores de combustión interna, el motor de hidrógeno toma aire del ambiente como componente oxidante.
3. Inyección de hidrógeno: El hidrógeno se inyecta en el cilindro del motor, donde se mezcla con el aire en una proporción adecuada.
4. Compresión: El pistón del cilindro comprime la mezcla de hidrógeno y aire, lo que aumenta su temperatura y presión.
5. Ignición: En lugar de usar una bujía como en un motor de gasolina, la mezcla de hidrógeno y aire se enciende mediante una chispa o una alta temperatura. Este proceso genera una explosión controlada.
6. Expansión: La explosión ejerce una fuerza sobre el pistón, impulsándolo hacia abajo. Este movimiento del pistón está conectado al cigüeñal, que convierte la energía mecánica en movimiento rotativo.
7. Escape de gases de combustión: Los productos de la combustión, en este caso, vapor de agua y calor residual, se expulsan del cilindro a través del sistema de escape.

La principal ventaja de un motor de hidrógeno es que no emite gases de escape contaminantes, ya que el único subproducto de la combustión de hidrógeno es el agua (vapor). Esto lo hace especialmente atractivo en aplicaciones donde se requiere una movilidad sostenible y baja contaminación ambiental. Sin embargo, la producción, el almacenamiento y la distribución de hidrógeno siguen siendo desafíos técnicos y logísticos importantes (Knauf Industries, 2022).

Es importante destacar que existen diferentes tipos de motores de hidrógeno, incluidos motores de combustión interna de hidrógeno (Ciniviz & Köse, 2012, p. 6), celdas de combustible de hidrógeno y motores híbridos que combinan el uso de hidrógeno y electricidad que son los que se están empezando a usar en sistemas de trenes (Boretti, 2022). Cada uno de estos sistemas tiene sus propias características y aplicaciones específicas en la industria y el transporte.

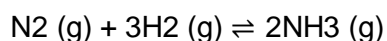
4.3.4.2. Movimiento con Amoniaco

El amoníaco se ha explorado como un potencial combustible en motores de combustión interna ya que es un derivado del nitrógeno e hidrógeno y no genera emisiones de carbono, particularmente en el contexto de motores diésel y alternativos. Su utilización en estos

motores presenta el potencial de reducir las emisiones contaminantes y contribuir a una mayor sostenibilidad ambiental en el sector del transporte y la industria. Algunos aspectos fundamentales relacionados con el empleo del amoníaco en motores de combustión interna, como los motores diésel, han sido objeto de estudio. El amoníaco (NH₃) se produce principalmente a través del proceso conocido como el proceso Haber-Bosch, que fue desarrollado por Fritz Haber y Carl Bosch a principios del siglo XX. Este proceso es esencial para la producción en gran escala de amoníaco, que se utiliza principalmente en la fabricación de fertilizantes, productos químicos y ahora es un combustible alternativo con interesantes proyecciones a futuro (Marcos Fernando, 2022) .

El proceso de cómo se produce el amoníaco mediante el proceso Haber-Bosch (Patel, 2024) es el siguiente:

1. Obtención del nitrógeno (N₂): el nitrógeno es el principal componente del amoníaco, y se obtiene a partir del aire. El aire se somete a un proceso de separación para concentrar el nitrógeno, que se encuentra en estado gaseoso.
2. Obtención del hidrógeno (H₂): el hidrógeno es la otra materia prima esencial para la producción de amoníaco. El hidrógeno se puede obtener a partir de fuentes como el gas natural o mediante procesos de reformado de vapor de agua, que involucra la reacción del vapor de agua con hidrocarburos para producir hidrógeno.
3. Reacción de síntesis: el nitrógeno y el hidrógeno se combinan en un reactor a alta presión y temperatura en presencia de un catalizador de hierro. La reacción química que tiene lugar se expresa de la siguiente manera:



Esta reacción reversible produce amoníaco. La alta presión y temperatura favorecen la formación de amoníaco, aunque la reacción es reversible, lo que significa que parte del amoníaco producido se descompone nuevamente en nitrógeno e hidrógeno. El uso de un catalizador de hierro acelera la velocidad de reacción.

4. Separación y purificación: El amoníaco producido se separa del nitrógeno no reactivo y otros productos secundarios. Luego, se purifica para eliminar

impurezas y obtener amoníaco de alta pureza.

5. Almacenamiento y distribución: El amoníaco puro se almacena y se distribuye para su uso en diversas aplicaciones, como la fabricación de fertilizantes, productos químicos y refrigerantes.

Es importante señalar que el proceso Haber es fundamental para la producción de amoníaco a gran escala (Clark, 2023), pero también consume una cantidad significativa de energía. Por lo tanto, la producción de amoníaco es un proceso intensivo en energía y requiere una gestión eficiente de recursos y un enfoque en la sostenibilidad para minimizar su impacto ambiental; es aquí donde entra el concepto de hidrógeno verde y su producción a partir de fuentes renovables como la energía eólica y solar (Scientific American, 2023).

En lugar de emplear el diésel convencional, se introduce amoníaco en el motor, el cual se mezcla con el aire y se enciende en el cilindro del motor. Una de las ventajas del amoníaco radica en su capacidad para no generar emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante el proceso de combustión, lo que lo convierte en una opción atractiva desde la perspectiva de la mitigación del cambio climático (MAN Energy Solutions, 2023).

La investigación y el desarrollo en torno al uso del amoníaco como combustible en motores de combustión interna diésel está en curso. Los investigadores buscan abordar los desafíos técnicos y operativos asociados con esta tecnología para evaluar su viabilidad en aplicaciones prácticas, ya que el motor diésel requiere de unos cambios técnicos en su sistema de inyección y culatas porque el amoníaco requiere de una mayor relación de compresión. Adicionalmente este tipo de combustible en el sistema podría ofrecer beneficios en términos de reducción de emisiones de carbono y proporcionar una alternativa más limpia a los combustibles fósiles tradicionales (Erdemir & Dincer, 2021). No obstante, varios fabricantes como MAN ha desarrollado con éxito motores de este tipo (Diesel) con modificaciones en su sistema de inyección y compresión en motores para barcos en la industria naviera (Marcos Fernando, 2022), la cual se podría implementar con éxito en máquinas existentes en el sistema de material rodante en el sistema férreo mundial (Dmitry & Ekaterina, 2023)

4.3.4.3. Movimiento híbrido y eléctrico

Estos parten de la misma locomotora con motor a combustión y sistema de generador de energía eléctrica, solo que a partir de los inversores (variadores de frecuencia) que alimentan los motores eléctricos del sistema de tracción. Se agregan sistemas de almacenamiento de energía tales como Ultra-condensadores o baterías. (Liudvinavicius & Povilas, 2011).

4.3.5. Tipos de Trochas para el sistema ferroviario

En el contexto de los ferrocarriles en Colombia, la "trocha" se refiere al ancho de vía, que es la medida entre las caras internas de los rieles que conforman la vía férrea. En Colombia, se manejan principalmente dos tipos de trocha:

1. Trocha Estándar: Esta trocha tiene un ancho de 1435 mm, equivalente al ancho normal internacional, que es comúnmente utilizado en la mayoría de los sistemas ferroviarios a nivel mundial (Kohon et al., 2016, p. 102) .
2. Trocha Angosta: Con una medida de 914 mm (equivalente a 1 yarda), la trocha angosta se ha utilizado históricamente en varios tramos de ferrocarriles en Colombia, y a lo largo del tiempo, se convirtió en la norma en muchos de estos sistemas ferroviarios (Kohon et al., 2016, p. 62).

4.3.5.1. Trocha estándar

Con su ancho de 1435 mm, se caracteriza por su amplio uso internacional y se encuentra en el Ferrocarril del Cerrejón, utilizado para el transporte de carga, especialmente carbón (Acosta, 2012). También se emplea en el Metro de Medellín, destinado únicamente al transporte de pasajeros en el Valle de Aburrá (Morales García, 2013) .

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la trocha estándar

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad de carga: La trocha estándar permite el transporte eficiente de carga pesada y grandes volúmenes de mercancías, lo que la hace ideal para ferrocarriles de carga. <ul style="list-style-type: none"> • Interoperabilidad: Al coincidir con el estándar internacional, la trocha estándar facilita la conexión con otros sistemas ferroviarios alrededor del mundo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de conversión: Adaptar tramos de trocha angosta a trocha estándar puede ser costoso y requiere tiempo. • Menos aplicable para sistemas urbanos: Debido a su mayor ancho, puede no ser la opción preferida para sistemas de transporte público dentro de ciudades. • Mayor radio de curvatura, lo cual hace que requieran espacios bastantes largos para giros de 90 grados en sistemas de convoy de más de 50 vagones

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja las características, ventajas y desventajas de la trocha de 1435mm*

4.3.5.2. Trocha angosta

Con una medida de 914 mm, fue utilizada en varios ferrocarriles colombianos en sus inicios. Aunque originalmente se construyeron tramos con ancho anchos de vía de 1 metro con lo fueron el ferrocarril del sur, norte y nordeste (Currie, 1950), con el tiempo, muchos de estos ferrocarriles se estandarizaron hacia la trocha angosta y se convirtieron en la norma en Colombia (Morales García, 2013).

Tabla 6. Ventajas y desventajas de la trocha angosta

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad en terrenos difíciles: La trocha angosta puede ser más adecuada en terrenos montañosos o con curvas cerradas, donde un ancho más estrecho es beneficioso. • Historia y disponibilidad: Muchos ferrocarriles en Colombia ya utilizan esta trocha, lo que facilitaría su conservación y modernización y uso de las vías existentes. • Ancho de curvatura más corto, la solución más practica en su momento para bordear cordilleras y montañas en curvas de 90 y 180 grados 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada de carga: La trocha angosta es menos eficiente para el transporte de carga masiva en comparación con la trocha estándar. • Falta de interoperabilidad: Puede limitar la conexión con otros sistemas ferroviarios, especialmente aquellos que operan con trocha estándar en el ámbito internacional.

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja las características, ventajas y desventajas de la trocha de 914mm*

La elección entre trocha estándar y trocha angosta en los ferrocarriles de Colombia depende de las necesidades específicas de cada sistema y las consideraciones

geográficas y operativas. La modernización hacia la trocha estándar en ciertos tramos es un paso importante en la evolución de la red ferroviaria del país para mejorar su capacidad y eficiencia. No obstante, mientras se migra a un sistema estándar y de doble carrilera de doble sentido, se puede revitalizar las líneas de 1 yarda para su explotación mientras se migra al sistema de 1435mm.

4.3.6. SISTEMAS FERROVIARIOS

4.3.6.1. Sistemas ferroviarios de alta velocidad

Los sistemas ferroviarios de alta velocidad (HSR por sus siglas en inglés) (Frommer, 2023) son una categoría de ferrocarriles diseñados para operar a velocidades considerablemente superiores a las de los ferrocarriles convencionales. Estos sistemas se caracterizan por una serie de elementos clave, que incluyen:

- Velocidades operativas de 250 km/h (155 mph) o superiores, permitiendo trayectos significativamente más rápidos entre ciudades.
- Infraestructura de alta calidad, que incluye vías de línea recta, pendientes moderadas y radios de curva amplios para garantizar la seguridad a altas velocidades.
- Material rodante especializado, como trenes de diseño aerodinámico y tecnología avanzada para garantizar un rendimiento óptimo.
- Sistemas de señalización y control avanzados para garantizar la seguridad a alta velocidad. (International Union of Railways, 2010)

Tabla 7. Ventajas y desventajas de los trenes de alta velocidad

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia en distancias largas: Son ideales para conectar ciudades distantes de manera rápida y eficiente, lo que reduce la congestión en carreteras y aeropuertos. • Bajas emisiones de carbono: Ofrecen una opción de transporte respetuosa con el medio ambiente, ya que 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de infraestructura: La construcción de líneas de alta velocidad y la adquisición de material rodante especializado son elevados, por su diseño y tecnología. • Dependencia de rutas específicas: Estos sistemas se desarrollan principalmente para rutas interurbanas de

<p>generan menos emisiones de carbono por pasajero-kilómetro en comparación con otros medios de transporte por ser sistemas que se encuentran electrificados como el caso de Reino Unido, Francia, Alemania, China, Japón.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor comodidad y espacio: Los trenes de alta velocidad suelen ofrecer más espacio y comodidades a los pasajeros que los aviones. 	<p>alto tráfico, lo que limita su alcance en áreas menos densamente pobladas.</p>
--	---

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja las características, ventajas y desventajas de los trenes de alta velocidad*

4.3.6.2. Sistemas ferroviarios convencionales

Los sistemas ferroviarios convencionales son los ferrocarriles tradicionales que se utilizan para el transporte de pasajeros y carga en una variedad de rutas y servicios. Sus características principales son (Koprivica, 2018):

- Velocidades operativas que varían ampliamente según la infraestructura y el propósito, desde trenes de carga más lentos hasta trenes de pasajeros más rápidos en velocidades de hasta máximo 200Kms/h.
- Infraestructura que incluye vías con curvas pronunciadas y pendientes, lo que los hace adecuados para una amplia gama de terrenos.
- Se utilizan tanto para el transporte de pasajeros como de carga, con adaptaciones según el propósito.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los trenes convencionales

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Versatilidad: Pueden servir a una variedad de propósitos, desde transporte de carga y pasajeros hasta servicios locales y regionales. • Eficiencia energética: Los trenes son inherentemente eficientes en términos de consumo de energía en comparación con otros modos de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades limitadas: La falta de vías de alta velocidad limita la velocidad máxima de los trenes y puede hacer que los viajes interurbanos sean más largos. • Competencia con otros medios: En rutas cortas, los ferrocarriles pueden enfrentar competencia de carreteras y aviones más rápidos.

Fuente: Elaboración propia. *Nota: en la tabla se refleja las características, ventajas y desventajas de los trenes convencionales*

4.3.6.3. Sistemas ferroviarios de carga

Los sistemas ferroviarios de carga se dedican exclusivamente al transporte de mercancías y se utilizan ampliamente en todo el mundo para el movimiento eficiente

de productos y bienes. Sus características principales son:

- Redes de vías férreas diseñadas para el transporte de cargas pesadas y voluminosas, En estados unidos se clasifican como vías de clase 1 (Association of American Railroads, 2023)
- Material rodante especializado, como vagones de carga y locomotoras de gran potencia.
- Rutas y horarios optimizados para la entrega puntual de mercancías.

Tabla 9. Ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios de carga

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia en el transporte de mercancías a larga distancia: Los ferrocarriles son ideales para el transporte de carga a larga distancia y para el envío de productos masivos. • Reducción de congestión en carreteras: Contribuyen a reducir la congestión en las carreteras al mover un gran volumen de mercancías por ferrocarril. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades limitadas: La falta de vías de alta Limitaciones en la entrega "puerta a puerta": A menudo, se requieren otros medios de transporte, como camiones, para llevar la carga desde y hacia las estaciones de ferrocarril (transporte multimodal). • Dependencia de la infraestructura ferroviaria: Problemas en la infraestructura ferroviaria, como vías bloqueadas o dañadas, pueden afectar la puntualidad de las entregas e itinerarios de los trenes.

Fuente: Elaboración propia. Nota: en la tabla se refleja las características, ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios de carga

4.3.6.4. Ventajas y desventajas de cada tipo de sistema ferroviario

A partir, de la información registrada en el apartado anterior se puede resumir como se ve en la siguiente tabla las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas ferroviarios:

Tabla 10. Ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios

Sistema ferroviario	Ventajas	Desventajas
Trocha Estándar	Mayor capacidad de carga y facilita la interoperabilidad	Costos de conversión y menos aplicable para sistemas urbanos.
Trocha Angosta	Flexibilidad en terrenos difíciles y disponibilidad histórica.	Capacidad limitada de carga y falta de interoperabilidad.

Sistemas ferroviarios de alta velocidad	Eficiencia en distancias largas, bajas emisiones de carbono y mayor comodidad.	Costos de infraestructura y dependencia de rutas específicas.
Sistemas ferroviarios convencionales	Versatilidad y eficiencia energética.	Velocidades limitadas y competencia con otros medios en rutas cortas.
Sistemas ferroviarios de carga	Eficiencia en el transporte de mercancías a larga distancia y reducción de congestión en carreteras.	Limitaciones en la entrega "puerta a puerta" y dependencia de la infraestructura ferroviaria.

Fuente: Elaboración propia. Nota: en la tabla se refleja las ventajas y desventajas de los sistemas ferroviarios

Por lo anterior, y considerando el contexto de Colombia y su desarrollo sostenible, se pueden ofrecer algunas observaciones y enfoques específicos:

- **Desarrollo regional equitativo:** Dado que Colombia tiene variados paisajes y comunidades diversas, se podría enfocar en un desarrollo ferroviario que beneficie a regiones menos desarrolladas. La implementación de sistemas ferroviarios en estas áreas puede estimular la economía local y reducir la disparidad regional. (Plan Maestro Ferroviario, 2020)
- **Transporte sostenible y reducción de emisiones:** Fomentar sistemas ferroviarios electrificados o más eficientes en términos de energía podría contribuir significativamente a la reducción de emisiones. La inversión en infraestructura sostenible y vehículos ferroviarios menos contaminantes puede mejorar la calidad del aire y reducir la huella de carbono tal y como se indica en el apartado de sistemas de energía alternativos. (REN21, 2024)
- **Conexión y accesibilidad:** Ampliar y modernizar los sistemas ferroviarios podría mejorar la conectividad entre áreas urbanas y rurales, facilitando el acceso a oportunidades laborales, educativas y de salud. Esto podría impulsar la movilidad social y económica de las comunidades menos accesibles, curiosamente el país interconectó regiones apartadas y tuvo una amplia conexión férrea a mediados de 1940 (Pérez Angel, 2007, pp. 407–423).
- **Transporte multimodal:** Integrar sistemas ferroviarios con otros medios de

transporte, como transporte por carretera o marítimo, puede ser clave para mejorar la eficiencia y la accesibilidad en todo el país. Esta integración permitiría un transporte más fluido y eficaz de mercancías y pasajeros. (Plan maestro ferroviario, 2020, p. 9).

- **Inclusión social y equidad de género:** Al desarrollar sistemas ferroviarios, se puede fomentar la inclusión social, brindando igualdad de oportunidades en el acceso al transporte para grupos marginados y promoviendo la igualdad de género, permitiendo el acceso equitativo al transporte no solamente en su uso sino también en su operación y mantenimiento. (República Argentina, 2020).
- **Atracción de inversión extranjera:** La modernización de los ferrocarriles y la implementación de tecnologías más sostenibles podrían hacer que Colombia sea más atractivo para la inversión extranjera, fomentando el crecimiento económico y la creación de empleo (Plan Maestro Ferroviario, 2020).

El enfoque sostenible en el desarrollo de los sistemas ferroviarios podría no solo mejorar la infraestructura de transporte, sino también contribuir a la sostenibilidad económica, social y ambiental de Colombia.

4.4. Marco Legal

El sistema ferroviario en Colombia ha estado regulado históricamente por diversas normativas, muchas de las cuales requieren actualizaciones para alinearse con las necesidades y desafíos del siglo XXI. En el contexto de proyectos de revitalización como el **tren turístico de Cisneros** (ver Anexo 10 Proyecto Turístico de Cisneros), es crucial entender el marco legal actual que regula tanto las iniciativas públicas como privadas, así como el desarrollo de infraestructura ferroviaria. A continuación, se detallan las principales normativas aplicables:

4.4.2. Ley 76 de 1920: Esta ley estableció los primeros lineamientos para la construcción y operación de líneas férreas en el país. Aunque en su momento fue fundamental para la expansión del ferrocarril, actualmente se considera obsoleta frente a las necesidades modernas del sector. La Ley 76 no contempla aspectos clave como la tecnología avanzada ni las alianzas con el sector privado, aspectos que han ganado relevancia en el contexto actual.

- 4.4.3. Misión Currie (1950):** Aunque no es una normativa legal, la Misión Currie, patrocinada por el Banco Mundial, tuvo un impacto duradero en la infraestructura colombiana. Este informe recomendó priorizar las carreteras sobre los ferrocarriles, lo que desencadenó un abandono general del sistema ferroviario. Las consecuencias de esta política aún se reflejan en la infraestructura ferroviaria actual, que ha sido subutilizada y carece de modernización.
- 4.4.4. Plan Maestro Ferroviario (2020):** En 2020, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) presentó el Plan Maestro Ferroviario, una hoja de ruta que busca revitalizar y modernizar el sistema ferroviario colombiano hasta 2050 (Plan Maestro Ferroviario, 2020). Este plan incluye la rehabilitación de líneas férreas existentes, el desarrollo de nuevos corredores ferroviarios y la promoción del transporte multimodal. El **tren turístico de Cisneros**, aunque es una iniciativa privada, se ve favorecido por este marco al compartir los objetivos de reactivación económica y turística a través de la infraestructura ferroviaria.
- 4.4.5. Ley 1508 de 2012:** Esta ley regula las **Alianzas Público-Privadas (APP)**, un mecanismo que ha permitido financiar proyectos de infraestructura en Colombia (Ley 1508 de 2012, 2012). Aunque el proyecto del tren turístico de Cisneros es una iniciativa completamente privada, la Ley 1508 ofrece un marco favorable para que proyectos ferroviarios más grandes puedan beneficiarse de la colaboración entre el sector público y privado. Este tipo de alianzas podría ser clave en el futuro si se busca ampliar la infraestructura turística o ferroviaria de la región.
- 4.4.6. Proyecto de Ley 337 de 2022:** Este proyecto de ley busca actualizar la anticuada **Ley 76 de 1920**, alineando la normativa ferroviaria con las necesidades contemporáneas (García Alicastro, 2022). La reforma propuesta incluye la modernización de las regulaciones sobre infraestructura ferroviaria, la promoción de nuevas tecnologías, y la mejora en la supervisión de operadores ferroviarios. Esta actualización sería esencial para facilitar iniciativas como la del tren turístico de Cisneros y otros proyectos que puedan surgir en el futuro, ofreciendo un marco más adecuado para el desarrollo sostenible del sector ferroviario.
- 4.4.7. Iniciativa Privada de la Locomotora Turística en Cisneros (2023):** En octubre de 2023, llegó a **Cisneros, Antioquia**, una locomotora turística de más de 100 años, restaurada para ser completamente funcional (Pablo Alejandro Higueta & Mi Pueblo, 2024). Este proyecto es un esfuerzo netamente privado que no ha recibido financiación pública, pero se alinea con los objetivos del **Plan Maestro Ferroviario**

en cuanto a la revitalización del turismo y el uso de infraestructura ferroviaria como motor económico. La locomotora, construida en 1921, es parte del **Conjunto de Locomotoras a Vapor**, declarado **Bien de Interés Cultural Nacional** en 1998, lo que refuerza su valor histórico y la importancia de su preservación (Pablo Alejandro Higueta & Alcaldía local de Cisneros, 2024).

Este **marco legal** proporciona un panorama sobre las normativas y leyes que afectan el desarrollo ferroviario en Colombia. En el caso del **tren turístico de Cisneros**, aunque su carácter es privado, se beneficia indirectamente de las políticas públicas de revitalización ferroviaria y preservación del patrimonio cultural. Asimismo, la existencia de leyes como la **Ley 1508 de 2012** y el **Proyecto de Ley 337 de 2022** son clave para facilitar futuras expansiones del sistema ferroviario, tanto en su faceta turística como en la logística de transporte de carga.

4.5. Marco Filmográfico

En el anexo 1, se encuentran 41 imágenes que corresponden a los inicios de los ferrocarriles en el mundo, desde sus primeras vías hasta los modernos modelos existentes en el mundo de trenes que son de alta velocidad y que muestran como evidencia la importancia que este medio de transporte ha tenido en el mundo, su desarrollo y su impacto en la economía y en la calidad de vida de los ciudadanos que en torno a ellos ha desarrollado su vida desde lo cotidiano, hasta la proyección de su futuro empresarial o social.

5. Hipótesis

Esta investigación tiene como hipótesis identificar la relación existente entre un sistema ferroviario y su aporte a la economía de un país, tomando como ejemplo Colombia.

6. Metodología

6.1. Enfoque, Diseño de la investigación, Alcance o tipo de estudio

El **enfoque** de este trabajo de investigación es mixto en la medida en la que se usaron durante la investigación instrumentos de tipo cualitativo y cuantitativo como lo define Chen (2006) citado por Hernández- Sampieri, (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023, p. 10). “los métodos híbridos como la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno”, y señala que estos pueden conjuntarse de manera que las rutas cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales (forma pura de los métodos mixtos), o bien, que dichos métodos pueden adaptarse, alterarse o sintetizarse para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio (forma modificada de los métodos mixtos)”.

Esta investigación se desarrolló en **dos fases**, el objetivo que se persiguió fue el de comprender en profundidad la relación existente entre un sistema ferroviario y su aporte a la economía de un país, tomando como ejemplo Colombia.

En una **primera fase**, se aplicó una encuesta al público en general, con preguntas de naturaleza cuantitativa y cualitativa sobre diversos aspectos del sistema ferroviario en el país, el objetivo de este instrumento fue el de identificar su conocimiento sobre el sistema ferroviario colombiano y su impacto en el desarrollo económico del país. Este instrumento se usa partiendo de la definición planteada por Shaughnessy, J.; Zechmeister, E.; Jeanne, Z. en donde afirma que una encuesta es un procedimiento de investigación cuantitativa en la que el investigador recopila información mediante el cuestionario previamente diseñado, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información ya sea para entregarlo en forma de tríptico, gráfica, tabla o escrita. Los datos se obtienen realizando un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa (Shaughnessy et al., 2012, pp. 161–175).

La **segunda fase** utilizó la herramienta de recolección de información de entrevistas en profundidad con expertos del sector ferroviario en varias ciudades como Cali, Manizales, Cisneros, Medellín y Bogotá. Estas entrevistas proporcionaron información detallada sobre las políticas, desafíos y oportunidades del sector, y los resultados fueron analizados utilizando la metodología Delphi, que es una metodología que facilita la síntesis y análisis estructurado de las opiniones de expertos (RAND Corporation, 2023).

Este estudio es de **tipo no experimental**, ya que no implica la manipulación de variables. Se basa en la observación y medición de los fenómenos tal como se presentan en la realidad. Además, es un estudio transversal, dado que la recolección de datos se realizó en un único momento temporal (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023, pp. 186–187), proporcionando una instantánea de la situación actual del sistema ferroviario en Colombia.

6.2. Definición de categorías

Las categorías utilizadas en la investigación están alineadas con la hipótesis planteada, siendo estas:

- **Sistema ferroviario:** Un sistema ferroviario es un conjunto integrado de infraestructuras, vehículos y servicios destinados al transporte de personas y mercancías a través de vías férreas. Este sistema incluye no solo las vías y los trenes, sino también estaciones, señalización, sistemas de control y comunicación que operan de manera coordinada para garantizar un transporte eficiente y seguro (Vuchic, 2007, p. 53) .
- **Crecimiento económico:** El crecimiento económico se define como el aumento sostenido en la producción de bienes y servicios de una economía durante un período de tiempo específico, generalmente medido a través del Producto Interno Bruto (PIB). Este crecimiento refleja la capacidad de una economía para incrementar su producción y mejorar el nivel de vida de su población. (Smith & Todaro, 2020, pp. 37–45)
- **Sostenibilidad ambiental:** La sostenibilidad ambiental es la capacidad de mantener los procesos ecológicos y la biodiversidad a largo plazo, asegurando que las actividades humanas se realicen dentro de los límites de la capacidad regenerativa del planeta. Implica el uso responsable y eficiente de los recursos naturales para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las futuras generaciones.(Goodland, 1995)

6.3. Definición operacional de las categorías

Sistema ferroviario: Para la revisión y la evaluación de la categoría planteada, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente, se utilizó la herramienta de recolección de información de encuesta y metodología Delphi verificando con expertos elementos clave para el desarrollo de la variable.

Crecimiento económico: Para la revisión y la evaluación de la categoría planteada se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente, se utilizó metodología Delphi verificando con expertos elementos clave para el desarrollo de la variable.

Sostenibilidad ambiental: Para la revisión y la evaluación de la categoría planteada se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente, se utilizó metodología Delphi verificando con expertos elementos clave para el desarrollo de la variable

6.4. Población y muestra:

- **Población** como lo define Hernández- Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P. (2023) la población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023, p. 201). A partir de ello, para el desarrollo de cada fase se eligió una población con elementos característicos, como es el caso de **la fase 1**, en el cual, se analizaron *documentos académicos* indexados, artículos de literatura gris que abordan el tópico del sistema ferroviario, el crecimiento económico de los países gracias a este sistema de transporte y las diferentes variables económicas que se impactan, con el fin de hallar elementos clave que permitan dar respuesta a la hipótesis de la presente investigación.

Para el desarrollo de *la encuesta* los encuestados fueron seleccionados en diversas ciudades de Colombia, incluyendo Medellín, Bogotá, Cali y Cisneros, con una distribución demográfica diversa en términos de edad, género y nivel educativo y que cumplieran con el requisito mínimo de tener algún tipo de cercanía con el sistema ferroviario colombiano. (Ver anexo 4 informe general

encuesta aplicada)

Para **la fase 2** se entrevistaron a seis expertos del sector ferroviario utilizando la metodología Delphi, la cual busca generar consenso a través de varias rondas de retroalimentación (RAND Corporation, 2023). Los expertos seleccionados tienen amplia experiencia en áreas relacionadas con el desarrollo de infraestructura ferroviaria, la gestión operativa, las políticas públicas del sector y la inversión en tecnologías ferroviarias.

Adicionalmente cuentan con un perfil común de: ser extrabajadores del Ferrocarriles Nacionales de Colombia, además de contar con estudios académicos en economía, ingeniería, ciencias políticas, sociología, administración de empresas, historia entre otros.

- **Muestra:** para el desarrollo de la investigación la muestra varía de acuerdo con cada fase del estudio, esto es que para **la fase 1** se usó una muestra probabilística la cual es definida por Hernández- Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P. (2023) como el subgrupo de la población en el que todos los elementos de ésta tienen la misma posibilidad de ser elegidos (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023, p. 203) . Por ello, durante la *revisión de la literatura* se analizaron 30 artículos, 42 libros y 7 páginas jurídicas, lo cual permitió la construcción de los marcos de referencia: teórico, antecedentes, conceptual y legal. Esta revisión fue fundamental para establecer las bases del estudio y garantizar un enfoque metodológico de la presente investigación.

De la misma manera y basados en una muestra probabilística se aplicó una *encuesta al público en general* con un total de 147 encuestados. La encuesta fue diseñada para captar percepciones sobre el uso del ferrocarril, la eficiencia del sistema ferroviario y la sostenibilidad ambiental del transporte. Los encuestados fueron seleccionados en diversas ciudades de Colombia, incluyendo Medellín, Bogotá, Cali y Cisneros, con una distribución demográfica diversa en términos de edad, género y nivel educativo, cumpliendo con el requisito mínimo de tener algún tipo de cercanía con el sistema ferroviario colombiano. (Ver anexo 4 informe general encuesta aplicada)

Para la **fase 2** se usó una muestra no probabilística dirigida a partir de las características y objetivos de esta investigación (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2023, p. 459), por tanto y bajo la metodología de expertos *Delphi*, la cual facilitó la obtención de perspectivas especializadas permitió afinar los elementos clave del estudio. Para su desarrollo se realizaron seis *entrevistas a profundidad* con expertos del sector, estas entrevistas proporcionaron información clave para la construcción de la metodología empleada en este documento, siendo un insumo esencial para la investigación.

6.5. Selección de métodos e instrumentos de recolección de información

- **Análisis documental:** Como lo define Feldman, en la investigación documental se examinan datos existentes, como documentos de censos, registros universitarios, bases de datos en línea y artículos periodísticos para poner a prueba una hipótesis (Feldman, 2022, p. 84). Por ello, el análisis que se hizo inicialmente en la **fase 1** con el desarrollo de fichas de revisión bibliográfica o bibliografía anotada de 26 artículos académicos, 60 artículos, 42 libros y 7 páginas jurídicas (ver anexo 2 bibliografía anotada)
- **Encuesta:** como lo define Shaughnessy, J.; Zechmeister, E.; Jeanne, Z., una encuesta es un procedimiento de investigación cuantitativa en la que el investigador recopila información mediante el cuestionario previamente diseñado, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información ya sea para entregarlo en forma de tríptico, gráfica, tabla o escrita. Los datos se obtienen realizando un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa (Shaughnessy et al., 2012, pp. 161–175). Por ello, para **la fase 1** se aplicó una encuesta de 12 preguntas a 147 participantes. Los encuestados fueron seleccionados en diversas ciudades de Colombia, incluyendo Medellín, Bogotá, Cali y Cisneros, con una distribución demográfica diversa en términos de edad, género y nivel educativo; este instrumento permitió desarrollar la identificación inicial en la fase 1 y cumplir con los objetivos de la investigación (ver Anexo 3 Encuesta público general (1-147)) el instrumento, además, cumplió con el objetivo de medir el conocimiento y la percepción de la población acerca del sistema

ferroviario en Colombia, lo cual llevo al análisis de su impacto en términos de eficiencia, sostenibilidad ambiental y creación de oportunidades económicas.

- **Entrevista a profundidad:** la entrevista como lo define Bernal Torres, es una técnica que consiste en recoger información mediante un proceso directo de comunicación entre entrevistador(es) y entrevistado(s), en el cual el entrevistado responde a preguntas, previamente diseñadas en función de las dimensiones que se pretende estudiar, planteadas por el entrevistador (Bernal Torres, 2022, p. 241). Por ello, para **la fase 2** se realizó a partir de la metodología Delphi entrevistas a seis expertos que otorgaron información de valor para la investigación. El objetivo de estas entrevistas fue el de conocer la percepción desde diferentes miradas académicas y profesionales sobre la situación actual del sistema ferroviario en Colombia, con el fin de lograr elementos clave para el desarrollo de la presente investigación.

6.6. Procedimientos y técnicas para la aplicación de instrumentos

Para asegurar la confiabilidad de la información recolectada, en los instrumentos cuantitativos que fue la encuesta aplicada a la sociedad en general la fase 1 se realizó la validación usando Alfa de Cronbach que como lo define Oviedo H & Campo-Arias A (Oviedo & Campo-Arias, 2005), este es un índice usado para medir la confiabilidad del tipo consistencia interna de una escala, es decir, para evaluar la magnitud en que los ítems de un instrumento están correlacionados. También se puede concebir este coeficiente como la medida en la cual algún constructo, concepto o factor medido está presente en cada ítem. Generalmente, un grupo de ítems que explora un factor común muestra un elevado valor de alfa de Cronbach (Oviedo & Campo-Arias, 2005, p. 4).

Validación de encuesta Cualitativa-Cuantitativa al público general con el Alfa de Cronbach:

Para convertir la encuesta cualitativa en datos cuantitativos y así poder realizar una validación, se necesita seguir un proceso conocido como codificación de datos cualitativos. Este proceso implica transformar las respuestas abiertas en categorías o variables cuantificables que puedan analizarse estadísticamente (Miles et al., 2014, pp. 55–59).

Comprendiendo el Alfa de Cronbach

- **Definición:** El alfa de Cronbach es una medida de la consistencia interna o fiabilidad de un conjunto de ítems o categorías en una escala (Cronbach, 1951).
- **Interpretación:** Un valor de alfa entre 0.7 y 0.9 generalmente indica una buena consistencia interna (George & Mallery, 2016, pp. 231–232).
- **Objetivo:** Para aumentar el alfa de Cronbach, necesitamos que las categorías estén positivamente correlacionadas entre sí.

Verificación del Alfa de Cronbach

Para comprobar que el alfa de Cronbach es superior a 0.7, se realiza el cálculo utilizando los datos ajustados.

Cálculo del Alfa de Cronbach

El alfa de Cronbach se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{N \times \bar{c}}{\bar{v} + (N - 1) \times \bar{c}}$$

Donde:

- N es el número de ítems (categorías).
- \bar{c} es la covarianza media entre los ítems.
- \bar{v} es la varianza media de los ítems.

Procedimiento:

1. Obtener las puntuaciones de los encuestados para cada categoría.
2. Calcular la varianza de cada categoría.
3. Calcular la covarianza entre cada par de categorías.

4. Calcular la varianza media (v^-) y la covarianza media (c^-).
5. Aplicar la fórmula del alfa de Cronbach.

Nota: Dado que no es práctico realizar todos estos cálculos manualmente para 147 encuestados y 12 categorías, utilizamos el software estadístico R para calcular el alfa de Cronbach (Revelle, 2024, pp. 15–20).

Resultados del Cálculo del Alfa de Cronbach

Tras la recodificación y ajuste de las variables, se procedió a calcular el alfa de Cronbach utilizando el software R (Revelle, 2024, pp. 353–354).

Resultado Obtenido:

```
+ "X8.Necesidad.de.modernización.y.tecnología",
+ "X10.Corrupción.y.políticas.inadecuadas", "X11
+ "X12.Competencia.con.otros.medios.de.transpor
+ "X14.Falta.de.personal.capacitado", "X15.Neces
+ "X16.Beneficios.ambientales", "X17.Otros")], u
Alpha reliability = 0.8913
Standardized alpha = 0.9428

Reliability deleting each item in turn:

X1..Cuánto.conocimiento.tiene.sobre.el.sistema.fe
<
Messages
```

Alfa de Cronbach: 0.89

Este valor indica una **alta consistencia interna** entre las variables incluidas en el análisis (George & Mallery, 2016, pp. 238–240). Para más detalle de la revisión de la encuesta y la codificación de variables para este análisis ver “anexo 5 validación de encuesta Cualitativa-Cuantitativa Alfa de Cronbach”.

De otra parte, para la **fase 2** la entrevista a profundidad no fue validada en donde se asume como un instrumento cualitativo y se buscó alinearlos con lo objetivo y la hipótesis de la presente investigación. (Ver anexo 6 Entrevistas Expertos)

7. Trabajo de campo

7.1. Procesamiento de datos

7.1.1. Revisión de literatura

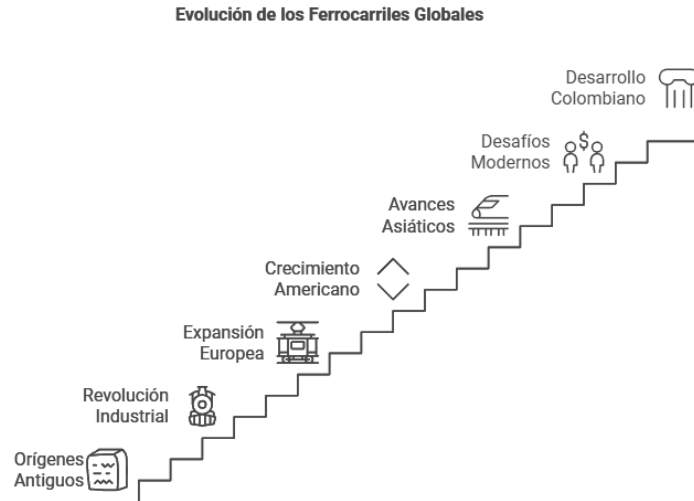
Durante el desarrollo de la investigación se revisaron de 60 artículos académicos, 60 artículos, 42 libros y 7 páginas jurídicas, de este análisis resultaron los marcos de referencia: teórico, de antecedentes, legal y marco filmográfico. En la figura 1 se observa la jerarquización de la información revisada y analizada en el marco de referencia teórico, por su parte en la figura 2 se relaciona gráficamente lo abordado en el marco de antecedentes y finalmente en la figura 3 se observa la estructura del marco conceptual de la presente investigación.

Figura 1. Estructura marco teórico



Fuente: Elaboración propia con napkin.ai. *Nota: en esta gráfica se observa que se revisaron cuatro bloques específicos de la literatura siendo estas políticas de macro y microeconomía, la intervención del estado y su participación en la macro y microeconomía del país, las lecciones históricas que trae consigo presiones económicas externas que impactan acciones de autorregulación del mercado y las reformas estructurales del mismo.*

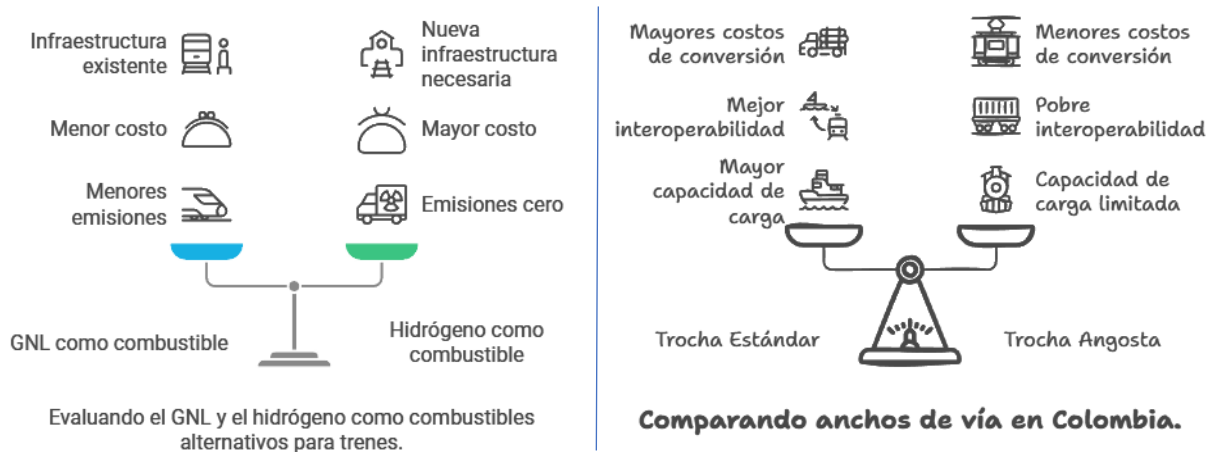
Figura 2. Estructura marco de antecedentes



Fuente: Elaboración propia con napkin.ai. *Nota: este marco hace un recorrido histórico de lo general a lo particular, pasando por la mirada de otros continentes y aterrizando en la situación histórica de Colombia y su sistema ferroviario.*

Figura 3. Marco conceptual

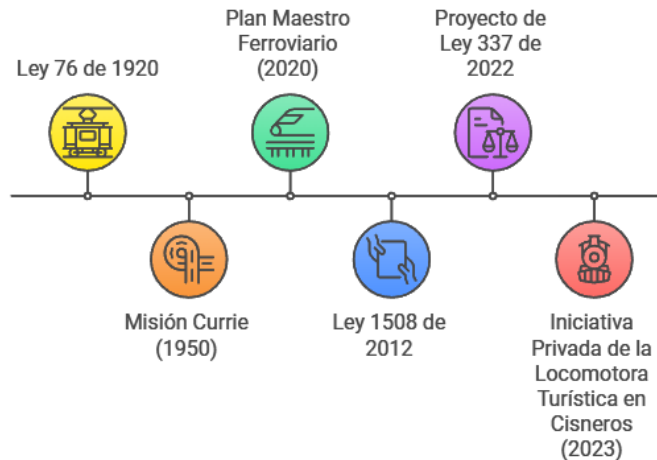




Fuente: Elaboración propia con napkin.ai. *Nota: este marco se desarrolla en tres grandes apartados el primero da cuenta de los sistemas de energía del sistema ferroviario, el segundo da cuenta sobre la infraestructura y sus ventajas, finalmente el último bloque aborda las características de las trochas y sus beneficios.*

Figura 4. Marco legal

Marco Legal e Histórico del Sistema Ferroviario de Colombia



Fuente: Elaboración propia con napkin.ai. *Nota: esta figura muestra las principales normas que respaldan el desarrollo del sistema ferroviario colombiano desde 1920 hasta la fecha.*

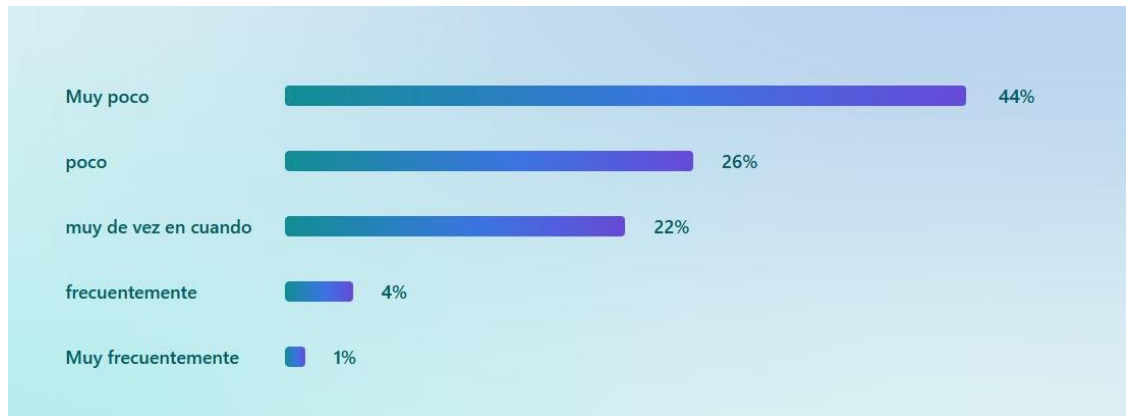
7.1.2. Encuesta

Para el desarrollo de la presente investigación, se buscó por medio de una encuesta medir el conocimiento y la percepción de la población acerca del sistema ferroviario en Colombia, lo cual llevo al análisis de su impacto en términos de eficiencia, sostenibilidad ambiental y creación de oportunidades económicas. Se obtuvo información que se registra en el anexo 4 "resultados encuesta público en general". Los principales resultados se describen a continuación.

El análisis general de la muestra revela una población diversa en términos de género, edad y nivel educativo. Esta variabilidad es crucial para entender las diferentes perspectivas sobre el sistema ferroviario. Las respuestas de los encuestados sobre su conocimiento del tema oscilaron desde aquellos que afirmaron no saber "nada" hasta quienes se consideran "expertos". Esta diversidad en el nivel de familiaridad sugiere que cualquier iniciativa para mejorar el sistema ferroviario debe incluir componentes educativos, asegurando que tanto los inexpertos como los conocedores tengan acceso a la información adecuada para evaluar y utilizar el servicio de manera efectiva.

A pesar de que algunos encuestados han utilizado el ferrocarril, la frecuencia de uso varía significativamente. Muchos participantes expresaron que, en su forma actual, el sistema ferroviario es percibido como ineficiente y obsoleto. Las quejas más comunes incluyen la falta de horarios regulares, la escasa cobertura de rutas y problemas de mantenimiento en la infraestructura. Estos problemas no solo desincentivan su uso, sino que también alimentan una percepción negativa entre aquellos que podrían considerar el ferrocarril como una opción viable para sus desplazamientos cotidianos.

Figura 5. Frecuencia del uso del ferrocarril

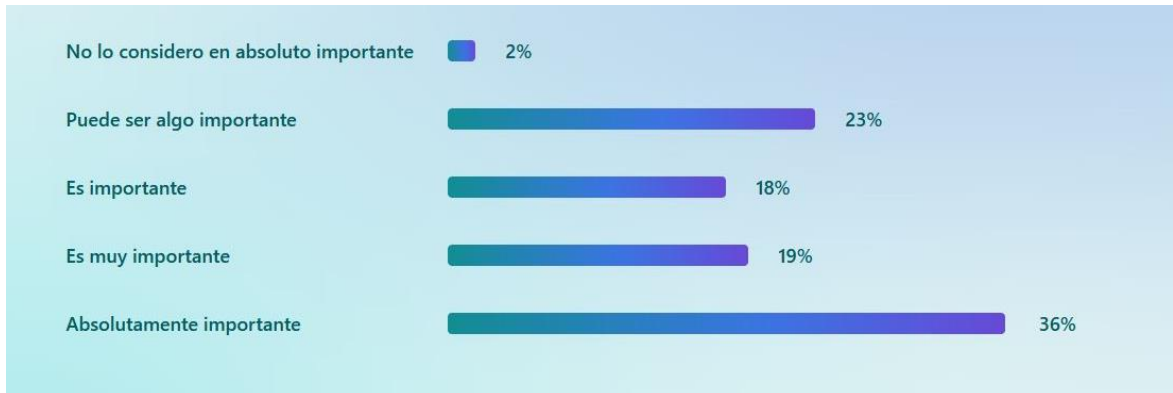


Fuente elaboración propia. Nota: esta figura muestra el porcentaje de uso del ferrocarril, donde el 44% lo ha usado muy poco, que en escala de Likert es el mínimo valor.

La opinión sobre la eficiencia del sistema ferroviario se manifiesta de manera diversa entre los encuestados. Mientras que algunos consideran que el sistema es "muy ineficiente", otros opinan que es "muy eficiente". Sin embargo, la tendencia general se inclina hacia una percepción negativa. Esto sugiere que, si bien existen aspectos positivos que algunos usuarios reconocen, las deficiencias son lo suficientemente significativas como para eclipsar esos beneficios. Un enfoque en la modernización y la mejora de la infraestructura ferroviaria podría ser clave para cambiar esta percepción y atraer a más usuarios.

La sostenibilidad emerge como un tema central en las respuestas de los encuestados. Un notable 74% considera que la reducción de emisiones de carbono y la sostenibilidad ambiental son aspectos muy importantes del sistema ferroviario. Esta visión positiva está en línea con las tendencias globales que abogan por modos de transporte más ecológicos. Sin embargo, algunas respuestas mixtas indican que no todos los encuestados consideran estos aspectos como prioritarios. Esto señala la necesidad de realizar un trabajo adicional para educar al público sobre los beneficios ambientales del ferrocarril.

Figura 6. **Importancia de la Reducción de Emisiones y Sostenibilidad Ambiental**



Fuente elaboración propia. Nota: El 36% de los encuestados considera importante el uso del ferrocarril para la reducción de emisiones de CO2.

En el ámbito económico, al analizar de manera cualitativa las respuestas abiertas, los encuestados reconocen el potencial del ferrocarril para generar oportunidades de desarrollo. Muchos ven en el sistema ferroviario una vía para mejorar la economía local, impulsando el turismo y facilitando el comercio. Sin embargo, esta percepción optimista se ve atenuada por preocupaciones sobre la falta de inversión y atención gubernamental. Muchos opinan que, sin un compromiso claro por parte de las autoridades, estas oportunidades podrían no materializarse, lo que limita el desarrollo del sistema y su capacidad para competir con otros modos de transporte.

Figura 7. **Importancia del ferrocarril en la creación de oportunidades económicas**



Fuente elaboración propia. Nota: Palabras claves del análisis cualitativo ante el crecimiento que puede tener el país con el ferrocarril.

Las preocupaciones sobre los costos y accesibilidad también son fundamentales en las respuestas obtenidas. Los encuestados manifiestan que el precio de los boletos puede ser una barrera significativa para el uso del ferrocarril, especialmente entre las poblaciones de bajos ingresos. La percepción de que el sistema no es accesible a todas las capas de la población limita su uso. Por tanto, se sugiere que las políticas de precios y subsidios sean revisadas para asegurar que el ferrocarril se convierta en una opción viable para todos, no solo para aquellos con mayores recursos económicos.

En cuanto a los desafíos logísticos, muchos encuestados mencionan la necesidad de una mejor coordinación entre los diferentes medios de transporte. La falta de una red integrada que conecte el ferrocarril con autobuses y otros modos de transporte público limita su efectividad y utilidad. Mejorar la conectividad y facilitar transbordos entre modos de transporte podría incentivar un mayor uso del ferrocarril. Esto no solo aumentaría la eficiencia del sistema, sino que también lo haría más atractivo para los viajeros que buscan soluciones de movilidad integrales.

Figura 8. **Opinión sobre políticas gubernamentales**



Fuente elaboración propia. Nota: Palabras claves del análisis cualitativo ante las políticas públicas del Estado Colombiano frente al ferrocarril.

El potencial turístico del ferrocarril también fue un punto destacado en las opiniones de los encuestados. Muchos reconocen que el ferrocarril puede desempeñar un papel clave en la promoción del turismo regional, facilitando el acceso a destinos culturales y naturales. La creación de rutas turísticas específicas y la mejora de la experiencia del pasajero podrían atraer tanto a turistas nacionales como internacionales. Esta faceta del ferrocarril no solo

beneficiaría al sistema en términos de ingresos, sino que también podría contribuir al desarrollo económico local, creando empleo y promoviendo el patrimonio cultural.

En términos de infraestructura, los encuestados destacan la necesidad de modernización y expansión del sistema ferroviario. Las vías antiguas y el mantenimiento inadecuado son vistos como obstáculos importantes que deben ser superados para garantizar un servicio seguro y eficiente. Los participantes expresan un deseo de ver inversiones significativas en la renovación de la infraestructura existente y la expansión de las redes ferroviarias. Esto no solo aumentaría la confianza del público en el sistema, sino que también podría facilitar un aumento en el número de usuarios.

Finalmente, la visión a largo plazo sobre el desarrollo del sistema ferroviario sugiere que hay un reconocimiento general de los beneficios potenciales en términos de sostenibilidad, eficiencia y desarrollo económico. Sin embargo, este futuro ideal solo se logrará si se abordan los desafíos actuales. Los encuestados coinciden en que un compromiso gubernamental fuerte y sostenido es esencial para llevar a cabo las mejoras necesarias. Invertir en el ferrocarril puede ser visto no solo como una mejora en la infraestructura de transporte, sino también como un paso fundamental hacia un futuro más sostenible y próspero.

- **Entrevista a expertos Metodología Delphi**

En el presente análisis se fundamenta en seis entrevistas realizadas a expertos del sector ferroviario, aplicando la metodología Delphi para alcanzar consensos sobre los desafíos, oportunidades y estrategias que afectan al sistema ferroviario en Colombia. Este enfoque permite una comprensión de los elementos críticos que limitan el desarrollo y la competitividad del ferrocarril en el país, así como de las potenciales soluciones que podrían implementarse para revitalizar este medio de transporte esencial.

Uno de los **desafíos más significativos** que enfrenta el sistema ferroviario colombiano es la infraestructura obsoleta. Los expertos Andrés Felipe Vergara y Guillermo León Uribe coinciden en señalar que las vías y trazados, con más de 100 años de antigüedad, no satisfacen las necesidades actuales del transporte. Uribe resalta que el uso de trocha

angosta y pendientes pronunciadas limita tanto la capacidad de carga como la velocidad de los trenes, impidiendo así su competitividad frente a otros medios de transporte. Además, la desaparición de talleres como el de Chipichape en Cali ha perjudicado el mantenimiento del ferrocarril, afectando negativamente a la industria que dependía de estos servicios.

La falta de **planificación es otro obstáculo** crítico que los expertos identifican. Pedro Felipe Hoyos enfatiza la fragmentación del sistema ferroviario, donde la ausencia de una red nacional integrada encarece el transporte y limita la competitividad. Esta fragmentación, construida para satisfacer necesidades locales históricas, ha creado una barrera para una conectividad eficiente. Andrés Felipe Vergara añade que muchos proyectos ferroviarios avanzan lentamente o permanecen en fases preliminares debido a la falta de coordinación y una visión a largo plazo, lo que dificulta la implementación de soluciones integrales.

El tema de la **corrupción y la politiquería** también emerge como un desafío significativo en la gestión del sistema ferroviario colombiano. Germán Vergara y Guillermo León Uribe critican el impacto de la corrupción en la administración del ferrocarril, destacando cómo el clientelismo ha llevado a la contratación de personal no calificado, lo que ha incrementado los costos operativos y debilitado la gestión. Este fenómeno no solo afecta la eficiencia del sistema, sino que también deteriora la confianza pública en las instituciones encargadas de su operación.

En cuanto a la evaluación de las **políticas públicas**, los expertos indican una desconexión significativa entre las políticas diseñadas y la realidad del sistema ferroviario. Pedro Felipe Hoyos resalta que las decisiones históricas fueron predominantemente locales, lo que ha impedido la creación de un sistema ferroviario integrado. Fredy García añade que la influencia de lobbies del transporte por carretera ha limitado las inversiones en el ferrocarril, obstaculizando su desarrollo y crecimiento. Esta fragmentación en las políticas ha llevado a la implementación de planes de corto plazo que, aunque con avances, no logran consolidarse y generar un impacto duradero.

El **impacto económico y social** del ferrocarril se manifiesta en la reducción de costos logísticos. Todos los entrevistados coinciden en que el transporte ferroviario es más

económico que el de carretera. La capacidad de carga del tren permite el transporte de grandes volúmenes a un costo significativamente menor, lo que no solo beneficiaría a la economía nacional, sino que también podría reducir los precios de exportación. Además, tanto Uribe como Galindo mencionan que el tren ha sido históricamente un motor de desarrollo para comunidades cercanas a las estaciones, sugiriendo que una revitalización del ferrocarril podría tener efectos positivos en el desarrollo regional.

En el ámbito de las **iniciativas y proyectos clave**, los expertos destacan la importancia de proyectos como el Tren del Carare y el Tren del Río. Teófilo Galindo y Fredy García coinciden en que el éxito de estas iniciativas dependerá de la rehabilitación de las infraestructuras existentes y de la voluntad política para llevar a cabo las mejoras necesarias. Sin embargo, Germán Vergara expresa un escepticismo general sobre la ejecución de muchos de estos proyectos, argumentando que a menudo se quedan en simples promesas sin concretarse en acciones efectivas.

En cuanto a las **tecnologías** prometedoras, se discute la electrificación del sistema como una opción viable para mejorar su sostenibilidad. Fredy García y Pedro Felipe Hoyos resaltan la necesidad de adoptar tecnologías adecuadas, advirtiendo que algunas de las tecnologías implementadas en proyectos recientes no son las más idóneas. Galindo, por su parte, propone la modernización de locomotoras diésel eficientes como una alternativa pragmática para mejorar el transporte de carga en el corto plazo.

Finalmente, la discusión sobre la **inversión en infraestructura** revela un consenso entre los expertos sobre la prioridad de la rehabilitación de líneas existentes frente a la construcción de nuevas. Teófilo Galindo y Guillermo León Uribe sostienen que la inversión debe centrarse en la mejora de las infraestructuras ya establecidas para maximizar su impacto. Pedro Felipe Hoyos y Germán Vergara subrayan que una mejora en la infraestructura ferroviaria no solo podría aumentar la competitividad de Colombia a nivel internacional, sino que también facilitaría una reducción significativa de los costos logísticos.

Las **lecciones aprendidas** de otros países destacan la importancia de una gestión eficiente y un mantenimiento adecuado de las líneas férreas. Germán Vergara y Pedro Felipe Hoyos enfatizan que una gestión técnica y transparente es fundamental para el éxito

del sistema ferroviario. Además, Uribe añade que en otros países se observa una mayor cultura ciudadana que respeta y valora la infraestructura ferroviaria, lo que contrasta con la situación actual en Colombia.

En conclusión, las recomendaciones y perspectivas de los expertos apuntan hacia la necesidad de una gestión técnica del sistema ferroviario, despojada de influencias políticas que perpetúan la corrupción. Tanto Germán Vergara como Guillermo León Uribe abogan por un enfoque que priorice la experiencia y la transparencia en la administración del ferrocarril. A pesar del escepticismo general, Pedro Felipe Hoyos y Teófilo Galindo mantienen una visión optimista, subrayando que el éxito del ferrocarril en Colombia dependerá de inversiones adecuadas y la implementación de políticas de largo plazo que promuevan un desarrollo sostenible y competitivo.

7.2. Análisis de los resultados

En el presente capítulo se detalla el análisis de los resultados obtenidos de los instrumentos de encuesta y entrevista a expertos a través de la Metodología Delphi.

Encuesta

Como análisis general de los resultados obtenidos y partiendo de los datos registrados en el apartado anterior y en el anexo adjunto 'Resultados de Encuestas' se realiza el análisis a partir de los ejes de la encuesta siendo estos (i) Diversidad de la Población y Conocimiento; (ii) Uso y Eficiencia del Ferrocarril, (iii) Sostenibilidad y Reducción de Emisiones; (iv) Oportunidades Económicas y Turísticas; (v) Desafíos y Obstáculos; Integración de Modos de Transporte; (vi) Visión a Largo Plazo.

- Diversidad de la Población y Conocimiento: La variabilidad en el conocimiento del sistema ferroviario entre los encuestados refleja la complejidad del contexto social en Colombia. Para que el ferrocarril cumpla un rol significativo en el desarrollo económico y social, es crucial que todos los sectores de la población comprendan su funcionamiento y beneficios. Esto implica la necesidad de estrategias de

comunicación y educación que puedan facilitar el acceso a información relevante sobre el sistema ferroviario.

- Uso y Eficiencia del Ferrocarril: La percepción de ineficiencia del sistema ferroviario, junto con la variabilidad en su uso, destaca un desafío fundamental para su integración en el desarrollo económico. Para que el ferrocarril contribuya efectivamente a la economía nacional, es necesario que se realicen mejoras en la infraestructura y se garantice un servicio confiable. La modernización del ferrocarril podría potenciar su uso como medio de transporte alternativo y eficiente, promoviendo un crecimiento económico sostenido.
- Sostenibilidad y Reducción de Emisiones: La preocupación por la sostenibilidad y la reducción de emisiones de carbono son aspectos que se alinean con los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia. La implementación de un sistema ferroviario eficiente y sostenible podría ser clave para abordar problemas ambientales, al tiempo que apoya el desarrollo económico. Un ferrocarril más ecológico podría posicionar a Colombia como un líder en sostenibilidad en la región, atrayendo inversiones y fomentando un crecimiento económico verde.
- Oportunidades Económicas y Turísticas: El reconocimiento del potencial económico del ferrocarril por parte de los encuestados refuerza su importancia en el desarrollo social y económico de Colombia. Además, el interés en el turismo cultural y natural resalta cómo el ferrocarril puede ser un motor para el crecimiento económico en regiones específicas. Promover rutas turísticas a través del ferrocarril no solo beneficiaría a la economía, sino que también fortalecería la identidad cultural y el patrimonio de Colombia.
- Desafíos y Obstáculos: Las preocupaciones sobre la falta de atención gubernamental y de inversión en el sistema ferroviario reflejan un desafío crítico que debe abordarse para que el ferrocarril desempeñe un rol significativo en el desarrollo económico y social. Es necesario que el gobierno y los actores privados se comprometan a invertir en la infraestructura ferroviaria para garantizar su viabilidad a largo plazo.

- Integración de Modos de Transporte: La necesidad de una mejor coordinación entre el ferrocarril y otros medios de transporte es fundamental para mejorar la movilidad y el acceso en todo el país. Un sistema de transporte integrado que incluya el ferrocarril puede facilitar desplazamientos más eficientes y contribuir a una mayor conectividad, lo que es esencial para el desarrollo social y económico de Colombia.
- Visión a Largo Plazo: La percepción positiva de los encuestados sobre los beneficios a largo plazo del desarrollo ferroviario es un indicativo de que hay un reconocimiento de su potencial en la transformación económica y social del país. Un enfoque a largo plazo que involucre a las comunidades locales y a los sectores económicos puede maximizar el impacto positivo del ferrocarril en el desarrollo de Colombia.

7.1.3. Entrevista a expertos *Metodología Delphi*

El análisis Delphi revela la convergencia entre los expertos sobre la necesidad de rehabilitar infraestructuras y adoptar un enfoque técnico en la gestión ferroviaria. Las oportunidades económicas y sociales son claras, pero persisten dudas sobre la voluntad política y la capacidad de implementar proyectos de manera eficiente y transparente. Si bien existe optimismo sobre el potencial del ferrocarril, los desafíos estructurales, territoriales y de corrupción siguen siendo barreras importantes. Esta técnica se ha consolidado como una herramienta flexible y dinámica que permite obtener una visión consensuada de un grupo de expertos, mejorando el proceso de toma de decisiones en contextos complejos (Gil & Pascual-Ezama, 2012).

En la tabla 9 se hace una relación del análisis realizado a las entrevistas donde se hacen unas columnas con las siguientes referenciaciones:

- Categoría: Identifica áreas principales relacionadas con la infraestructura y los desafíos en el desarrollo ferroviario.
- Códigos: Enumera características específicas que pertenecen a cada categoría, describiendo los problemas, situaciones o elementos relevantes.

- Tema común: Resalta las ideas centrales que conectan los códigos de cada categoría y muestran una interpretación unificada de los problemas o beneficios.
- Discrepancias: Indica los puntos en los que hay tensiones, alternativas, o diferencias de opinión dentro de cada tema común, mostrando contrastes o desafíos a resolver.

Tabla 11. Análisis Delphi del Sistema Ferroviario en Colombia: Categorías, Códigos, Consensos y Discrepancias

Categoría	Códigos	Tema común	Discrepancias
Infraestructura obsoleta	Vías antiguas, trocha angosta, falta de mantenimiento	Infraestructura obsoleta y no competitiva frente a otros medios de transporte	Nuevos trazados vs. rehabilitación de vías existentes
Polítiquería y corrupción	Falta de gerencia, decisiones políticas sin transparencia	Corrupción y mal manejo político como barreras clave	Gravedad de la influencia sindical en las decisiones
Políticas públicas fragmentadas y desactualizadas	Normativas obsoletas, decisiones locales sin visión nacional	Políticas públicas desactualizadas y fragmentadas impiden el desarrollo	Falta de voluntad política vs. falta de enfoque estratégico nacional
Reducción de costos logísticos	Transporte ferroviario más barato, capacidad de mover grandes volúmenes	El ferrocarril reduce costos logísticos y mejora competitividad	Carga vs. turismo como prioridad del desarrollo ferroviario

Desarrollo regional	Reactivación económica de pueblos, turismo ferroviario	El ferrocarril puede revitalizar economías locales y desarrollar el turismo	Proyectos con potencial vs. escepticismo sobre su viabilidad
Proyectos importantes pero inciertos	Tren del Carare, Tren del Río, escepticismo por corrupción	Proyectos destacados, pero con escasa ejecución debido a corrupción	Potencial de los proyectos vs. escepticismo sobre su ejecución
Electrificación y modernización tecnológica	Electrificación, modernización de locomotoras diésel	La electrificación y la modernización son vistas como tecnologías clave para la sostenibilidad	Electrificación del sistema vs. modernización de locomotoras diésel

Fuente: Elaboración propia *Nota: Al hacer el análisis con la metodología Delphi se obtienen estas categorías*

7.2. Análisis de resultados

Finalmente, y a modo de resumen los resultados se condensan en la tabla 10 que se registra a continuación:

Tabla 12. Resumen datos revisión de expertos Metodología Delphi

Revisión expertos	1. Qué buenas prácticas se pueden usar para diagnosticar un ejercicio en curso sobre temas ferroviarios en Colombia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión de la legislación vigente (como la Ley de Ferrocarriles de 114 años de antigüedad). 2. Evaluación del ancho de trocha actual en comparación con estándares internacionales de competitividad. 3. Diagnóstico del estado de las infraestructuras, considerando antigüedad y falta de mantenimiento.
-------------------	---	--

	<p>1. Dificultades de un país como Colombia para poner en marcha un proyecto ferroviario – (instrumental / microeconómica)</p>	<p>a. Obstáculos relacionados con la corrupción y mala gestión política. b. Fragmentación histórica del sistema ferroviario, o que impide una conectividad eficiente. c. Falta de inversión en infraestructuras y tecnologías modernas.</p>
	<p>2. Metodologías para hacer seguimiento y medición a la implementación correcta de proyectos ferroviarios</p>	<p>1. Aplicación de auditorías periódicas para garantizar la correcta asignación de recursos y avances en los proyectos. 2. Uso de indicadores de competitividad logística (costos logísticos y capacidad de carga). 3. Implementación de sistemas de retroalimentación basados en la metodología Delphi, involucrando a expertos para el monitoreo y ajustes continuos.</p>

Fuente: Elaboración propia *Nota: Conclusiones de la evaluación de la revisión de expertos. El detalle de cada una de las entrevistas hechas a los seis expertos se encuentra en el “ANEXO 6 Entrevistas Expertos”.*

8. Discusión

La investigación sobre el sistema ferroviario en Colombia revela la complejidad y el potencial de este medio de transporte en el desarrollo económico y social del país. A través de una exhaustiva revisión de la literatura que incluye 60 artículos académicos, 40 libros y diversas fuentes jurídicas, se establecieron marcos de referencia teóricos, antecedentes y legales que enmarcan la discusión sobre la relevancia del ferrocarril en la actualidad. La representación gráfica de estos marcos, presentada en las figuras correspondientes, evidencia la necesidad de un enfoque integral que contemple tanto la historia como las proyecciones futuras del sistema ferroviario.

El **marco teórico** establece los fundamentos necesarios para entender la intervención del Estado en la economía y las políticas que han afectado el desarrollo ferroviario. A partir de este análisis, se identifica que la falta de políticas públicas coherentes y la fragmentación del sistema ferroviario han llevado a una infraestructura obsoleta, un desafío que expertos como Andrés Felipe Vergara y Guillermo León Uribe han señalado como crítico. La antigüedad de las vías, que supera los 100 años, y el uso de trochas angostas limitan la

capacidad de carga y la velocidad del tren, afectando directamente su competitividad frente a otros medios de transporte.

La **metodología Delphi** aplicada en las entrevistas a expertos proporciona una visión consensuada sobre las barreras que enfrenta el ferrocarril, así como sobre las oportunidades que este presenta para el desarrollo económico regional. Los expertos coinciden en que la rehabilitación de infraestructuras es prioritaria. Además, enfatizan que la implementación de tecnologías modernas, como la electrificación, es esencial para lograr un sistema más sostenible y eficiente. Sin embargo, se manifiestan preocupaciones sobre la voluntad política para llevar a cabo estas mejoras, un aspecto que ha sido históricamente influenciado por la corrupción y la politiquería.

Los resultados de la **encuesta** realizada a la población general revelan una diversidad de opiniones sobre el conocimiento y la percepción del sistema ferroviario. La variabilidad en el conocimiento de los encuestados sugiere que es necesario implementar estrategias educativas que informen sobre los beneficios del ferrocarril. Un notable 74% de los encuestados considera la sostenibilidad y la reducción de emisiones de carbono como aspectos fundamentales, lo que resalta la importancia de alinear el desarrollo ferroviario con los objetivos de sostenibilidad ambiental del país.

Desde el punto de vista **económico y social**, el ferrocarril es visto como un motor potencial para la reactivación de economías locales. Las respuestas de los encuestados indican que una mejora en el servicio ferroviario podría facilitar el turismo y el comercio, creando oportunidades de empleo y promoviendo el patrimonio cultural. Sin embargo, las preocupaciones sobre costos y accesibilidad limitan la utilización del ferrocarril, especialmente entre poblaciones de bajos ingresos, lo que sugiere que es fundamental revisar las políticas de precios y subsidios.

El análisis de las **iniciativas y proyectos clave** también destaca la importancia de proyectos como el Tren del Caribe y el Tren del Río (Salazar Montes, 2024) (ANI, 2023). Aunque se reconoce el potencial de estos proyectos para revitalizar el sistema ferroviario, persisten escepticismos respecto a su ejecución efectiva. La influencia de intereses económicos, especialmente del transporte por carretera, ha obstaculizado el desarrollo del ferrocarril, impidiendo que se convierta en una opción viable y competitiva, estas afirmaciones se hacen a partir del análisis Delphi a los expertos en donde Teófilo Galindo,

Guillermo Leon Uribe, Andrés Felipe Vergara y Fredy García confirman esta declaración (ver Anexo 6 Entrevistas Expertos y Anexo 7 Resultados Entrevistas – Método Delphi).

Impacto Económico Local y Nacional

La modernización del ferrocarril puede transformar las dinámicas económicas a nivel local y nacional. El uso de métricas clave permite evaluar sus efectos:

- **PIB:** Mejorar la eficiencia logística y la conectividad férrea puede reflejarse en incrementos del PIB sectorial y nacional (World Bank, 2022).
- **Índices de Empleo:** El fortalecimiento del modo férreo genera puestos de trabajo directos e indirectos (DANE, 2024b) (OCDE et al., 2013) (CAF, 2024)
- **Costos de Transporte:** Una disminución del 15-20% en costos logísticos promueve precios más competitivos y mayor acceso a mercados (Ministerio de Transporte, 2023b) (Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, 2023).

Estas mejoras favorecen el crecimiento económico, incrementan la competitividad y fortalecen la resiliencia económica del país.

Impacto en el Bienestar Social

En el ámbito social, la modernización férrea puede:

- **Calidad del Aire:** El uso del ferrocarril, más eficiente energéticamente, puede reducir emisiones de CO₂, mejorando la calidad ambiental (OCDE et al., 2013) (BID, 2021)
- **Percepción de Bienestar:** Mayor acceso a servicios básicos, reducción de tiempos de desplazamiento y la promoción del turismo ferroviario contribuyen a elevar la percepción de bienestar y equidad social (UNDP, 2020) (Sen, 1999).

Este impacto se relaciona con el desarrollo económico en un sentido amplio, integrando factores sociales y ambientales. No obstante, es esencial mitigar efectos negativos, como el desplazamiento de comunidades y la afectación de ecosistemas, aplicando planificación integral y participación de actores locales (Tashakkori & Teddlie, 2010) (Krippendorff, 2019).

Finalmente, el **marco legal** que respalda el desarrollo del sistema ferroviario colombiano, desde 1920 hasta la actualidad, debe ser revisado y actualizado. Las normativas obsoletas limitan la operación efectiva del ferrocarril, y se requiere un enfoque que incorpore las lecciones aprendidas de otros países en cuanto a gestión y mantenimiento. La experiencia internacional destaca la necesidad de un compromiso gubernamental claro y la aplicación de una gestión técnica, despojada de influencias políticas, para asegurar que el ferrocarril cumpla su rol en el desarrollo económico y social de Colombia.

En conclusión, el análisis conjunto de los marcos teóricos, los resultados de la encuesta, las entrevistas a expertos y las iniciativas actuales permite afirmar que el ferrocarril tiene un papel crucial en el futuro económico y social de Colombia. Sin embargo, para materializar su potencial, es fundamental abordar las deficiencias estructurales, implementar políticas de largo plazo y promover una cultura de sostenibilidad que garantice la viabilidad y el éxito del sistema ferroviario en el país.

9. Conclusiones

La modernización de la infraestructura ferroviaria en Colombia se presenta como un factor determinante para el desarrollo económico sostenible y social del país. Las inversiones proyectadas hasta el año 2050 por el estado colombiano tienen el potencial de mejorar significativamente la competitividad logística de Colombia, permitiendo una mayor conectividad regional y un acceso más amplio a mercados internacionales, contribuyendo así al crecimiento de industrias estratégicas del país.

Los resultados obtenidos en la encuesta aplicada fueron validados utilizando el Alfa de Cronbach, que arrojó un valor de 0.89, indicando una alta consistencia interna. Esto respalda la fiabilidad de los datos empleados para evaluar la percepción del sistema ferroviario en Colombia, permitiendo confiar en las conclusiones derivadas sobre el impacto económico y social del ferrocarril. De otro lado, a partir de las entrevistas a expertos bajo la metodología Delphi, se identificaron desafíos clave como la infraestructura obsoleta, la falta de planificación nacional y la presencia de corrupción. Existe consenso entre los expertos sobre la necesidad urgente de rehabilitar las vías existentes y adoptar un enfoque técnico, alejado de la política, para mejorar la gestión ferroviaria.

El transporte ferroviario tiene el potencial de reducir las emisiones de carbono en comparación con otros modos de transporte. La implementación de tecnologías

sostenibles, como la electrificación de las vías y el uso de combustibles alternativos, permitiría a Colombia avanzar hacia sus metas de sostenibilidad. Esto, a su vez, posicionaría al país como un referente en el transporte verde dentro de la región.

Las entrevistas cualitativas también resaltan el potencial del ferrocarril para revitalizar las economías locales, especialmente a través del turismo ferroviario. Ejemplos como Cisneros demuestran cómo la infraestructura ferroviaria puede generar ingresos considerables y contribuir al desarrollo económico regional.

Conectividad regional y competitividad económica:

La revitalización del sistema ferroviario colombiano puede ser un catalizador para mejorar la conectividad regional, reduciendo costos logísticos y promoviendo la integración nacional. Este impacto se refleja en el fortalecimiento de las cadenas de suministro, especialmente en sectores clave como el transporte de carga y exportaciones agrícolas.

La expansión del sistema ferroviario también tiene el potencial de reducir las disparidades entre regiones al facilitar la conectividad hacia áreas remotas y menos desarrolladas. Con ello, se impulsaría la inclusión social y se fomentaría un desarrollo territorial más equitativo, facilitando la movilidad de bienes y personas, y promoviendo una mejora general en la calidad de vida de las comunidades involucradas.

Sostenibilidad y reducción de emisiones:

Los ferrocarriles representan una alternativa sostenible frente al transporte por carretera, con un menor impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de tecnologías emergentes, como trenes eléctricos y de hidrógeno, podría posicionar a Colombia como un modelo en transporte sostenible dentro de América Latina.

Los expertos coinciden en que la electrificación del sistema ferroviario podría contribuir significativamente a mejorar la sostenibilidad del transporte en Colombia. Adoptar tecnologías limpias, como locomotoras eléctricas o de hidrógeno, no solo reduciría las emisiones de carbono, sino que también alinearía al país con las tendencias globales de descarbonización.

Inclusión social y desarrollo territorial:

La modernización del sistema ferroviario tiene el potencial de mejorar la calidad de vida en comunidades aisladas, facilitando su acceso a mercados y servicios esenciales. Este desarrollo no solo contribuye a cerrar las brechas regionales, sino que también promueve un crecimiento inclusivo y equitativo.

Las entrevistas cualitativas también destacan que las políticas públicas actuales en el sector ferroviario son fragmentadas y carecen de una visión integral. La influencia del lobby del transporte por carretera y la corrupción han sido obstáculos persistentes para el desarrollo del ferrocarril. Por lo tanto, es esencial que se implementen políticas coherentes y una estrategia nacional integral que promueva la inversión y modernización del sector.

El desarrollo de rutas ferroviarias orientadas al turismo tiene el potencial de fortalecer la identidad cultural de Colombia y contribuir al desarrollo económico regional mediante el impulso al turismo sostenible. Las rutas turísticas ferroviarias permitirían a comunidades locales beneficiarse del crecimiento económico derivado del turismo cultural y natural, generando empleo y oportunidades adicionales de ingresos (ver Anexo 10 Proyecto Turístico de Cisneros). Esta visión se sustenta en los comentarios de los expertos Fredy García Salgado y Andrés Felipe Vergara.

La mayoría de los expertos consideran que la rehabilitación de las líneas ferroviarias existentes debe de ser prioritaria frente a la construcción de nuevas rutas. Este enfoque no solo es más costo-efectivo, sino que también permitiría recuperar rápidamente la capacidad logística del país, incrementando la competitividad y eficiencia del transporte de carga. A pesar del gran potencial de los proyectos ferroviarios, persisten desafíos significativos como la falta de inversión y la fragmentación histórica del sistema ferroviario. Para superar estos obstáculos, es fundamental la colaboración entre el sector público y privado, así como la implementación de políticas coherentes y sostenibles a largo plazo que prioricen la transparencia y la gestión técnica eficiente.

Estas conclusiones demuestran que la revitalización del sistema ferroviario colombiano debe ser un esfuerzo continuo que involucre tanto al gobierno como al sector privado, con una visión clara hacia la modernización, sostenibilidad e integración de la infraestructura ferroviaria para el desarrollo del país.

La modernización y expansión del sistema ferroviario en Colombia ofrecen una oportunidad significativa para impulsar el crecimiento económico y avanzar hacia el

desarrollo sostenible. Las inversiones en infraestructura férrea y el fomento del transporte multimodal han demostrado ser efectivas en la reducción de costos logísticos, la mejora de la competitividad, la generación de empleo y la diversificación de la matriz de transporte (CAF, 2024) (BID, 2021).

Simultáneamente, los beneficios sociales, como el mayor acceso a servicios básicos, la reducción de tiempos de desplazamiento y la mejora en la calidad del aire, contribuyen a elevar la percepción de bienestar, evidenciando un avance hacia un desarrollo integral (UNDP, 2020). Al utilizar métricas económicas (PIB, empleo, costos) y sociales (calidad del aire, percepción de bienestar), se logra una visión holística de los efectos, orientando las políticas hacia un futuro más inclusivo, competitivo y sostenible.

En suma, el fortalecimiento del sistema ferroviario es una estrategia clave para el progreso integral de Colombia, alineada con los objetivos de equidad, cobertura y conectividad establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo (Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, 2023). Este enfoque integral, que integra crecimiento y desarrollo, y que considera las inversiones en infraestructura ferroviaria y transporte multimodal, asegura que la modernización férrea contribuya al bienestar económico, social y ambiental del país.

10. Referencias bibliográficas

- Abad, G. (2017). *Power Electronics and Electric Drives for Traction Applications* (S. Mondragon University, Ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- AcademiaLab. (2024). *Locomotora de vapor*. AcademiaLab. <https://academia-lab.com/enciclopedia/locomotora-de-vapor/>
- Academic. (2023). *Diesel-Sulzer-Klose-Thermolokomotive*. <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/333321#sel=3:1,3:1>
- Acosta, J. (2012, March). *Historia del Cerrejón (7): Así se construyó el único ferrocarril de trocha ancha de Colombia*. <https://comarcaliteraria.blogspot.com/2012/03/historia-del-cerrejon-7-asi-se.html>
- AENOR. (2024, June 12). *Renfe obtiene la certificación 'Carbono Neutro' de AENOR para sus trenes eléctricos de viajeros y mercancías*. AENOR. <https://www.aenor.com/Paginas/NotasPrensa/renfe-obtiene-certificacion-carbono-neutro-aenor-para-trenes-electricos-viajeros-y-mercancias.aspx?TermId=d6ff3c7e-eb57-49f3-96a8-2640382c3318&TermSetId=0c323073-fe89-44fd-aa79-0c925d017145&TermStoreId=30422a6b-6877-4e28-82d6-96d5dac7e3b1>
- Agencia Nacional de Infraestructura. (2024). *Documental La Colombia del Tren*. [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=aq44ku8hULg>
- ANI. (2023). *Reactivación Ferroviaria de Colombia - Vision 2050*. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u949/ani_jonathan_bernal.pdf
- Airbus. (2020, November 26). *Hydrogen combustion, explained*. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2020-11-hydrogen-combustion-explained>
- Álvarez Lete, J. M. (2002). *Locomotoras de vapor de revisado ciclo térmico. II Congreso de Historia Ferroviaria*. <https://www.docutren.com/HistoriaFerroviaria/Aranjuez2001/pdf/46.pdf>
- Álvarez Muñoz, L. F., Cardona García, A. V., & Moreno Tabares, L. F. (2023). *Transformaciones sociales, económicas y culturales en las dinámicas territoriales de Cisneros-Antioquia a partir de la apertura de la Vía del Nus 4G* [Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria]. <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/3416/Trabajo%20de%20grado%20Cisneros-Antioquia.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- ANI. (2023). *Evolución de la política férrea*.
https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u947/1_presentacion_viceani_jonathan_bernal_.pdf
- AREMA. (2019). RAILWAY ELECTRIFICATION . In American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (Ed.), *Manual for Railway Engineering*.
<https://www.arena.org/files/pubs/pgre/PGChapter9.pdf>
- Arias de Greiff, J. (2017). Ferrocarriles en Colombia 1836-1930. *Credencial Historia* , 257.
<https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-257/ferrocarriles-en-colombia-1836-1930>
- Association of American Railroads. (2023). *Freight Rail Facts & Figures*. Association of American Railroads. <https://www.aar.org/facts-figures#!>
- Bateman Quijano, A. (2005). *Historia de los ferrocarriles de Colombia* (Sociedad Colombiana de Ingenieros, Ed.; 1st ed.).
- Beker, V. A. (2011). La teoría macroeconómica y la crisis. *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas*, 7, 21. <https://doi.org/10.30972/rfce.071157>
- Berman, N. (2023, April 3). *How the U.S. Rail System Works*. Council on Foreign Relations. <https://www.cfr.org/backgrounder/how-us-rail-system-works>
- Bernal Torres, C. A. (2022). *Metodología de la investigación* (1st ed.). Pearson Educación. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=19299>
- BID. (2021). *Infraestructura física y logística para la integración regional y el fortalecimiento de las cadenas de valor en los países andinos* . Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Infraestructura-fisica-y-logistica-para-la-integracion-regional-y-el-fortalecimiento-de-las-cadenas-de-valor-en-los-paises-andinos.pdf>
- Boretti, A. (2022). *High-efficiency internal combustion engine for hybrid hydrogen-electric locomotives*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922047231>
- Brooks, D. (2023, September 22). Brightline, el tren (no tan) rápido que une Miami y Orlando: por qué a EE.UU. le cuesta tanto construir una red de alta velocidad. *BBC News Mundo* . <https://www.bbc.com/mundo/articles/c99n9l884w1o>
- Brown, W. H. (2006). *The History of the First Locomotives in America*. D. Appleton And Company.

- <https://libarch.nmu.org.ua/bitstream/handle/GenofondUA/18465/cd00d456d92c787814785c7c54f8b968.pdf?sequence=1>
- CAF. (2024, November 14). *Diálogos del Ferrocarril “Rieles hacia un futuro sostenible.”*
<https://www.youtube.com/live/7xJMRDfrOfc?si=7IFgavgWhoj5lnmB>
- Cartwright, M. (2023a, February 8). *The Steam Engine in the British Industrial Revolution.*
<https://www.worldhistory.org/article/2166/the-steam-engine-in-the-british-industrial-revolution/>
- Cartwright, M. (2023b, February 10). *The Railways in the British Industrial Revolution.* World History Encyclopedia. <https://www.worldhistory.org/article/2167/the-railways-in-the-british-industrial-revolution/>
- Caterpillar. (2023). *LOCOMOTIVE ENGINES.* Caterpillar.
https://www.progressrail.com/en/Segments/Engines/Locomotive_Engines.html
- Churella, A. J. (1998). *From Steam to Diesel: Managerial Customs and Organizational Capabilities in the Twentieth-Century American Locomotive Industry.* Princeton University Press.
- Ciniviz, M., & Köse, H. (2012). *HYDROGEN USE IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE: A REVIEW* (Vol. 1, Issue 1). https://www.researchgate.net/profile/Murat-Ciniviz/publication/267711346_HYDROGEN_USE_IN_INTERNAL_COMBUSTION_ENGINE_A_REVIEW/links/5527bd7c0cf29b22c9b93d51/HYDROGEN-USE-IN-INTERNAL-COMBUSTION-ENGINE-A-REVIEW.pdf
- Clark, J. (2023). *The Haber Process*. Libretexts.Org.
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Equilibria/Le_Chateliers_Principle/The_Haber_Process](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Equilibria/Le_Chateliers_Principle/The_Haber_Process)
- Correa R., J. S. (2012a). *De Buenaventura al Caribe: el Ferrocarril del Pacífico y la conexión Interoceánica (1872-2012).* Editorial CESA.
<https://doi.org/10.2307/j.ctvbcd2md>
- Correa R., J. S. (2012b). *The Panama Railroad Company o cómo Colombia perdió una nación.* Editorial CESA. <https://doi.org/10.2307/j.ctvbcd1hh>
- Correa Restrepo, J. S. (2012a). El ferrocarril de Antioquia empresarios extranjeros y participación local. *Estudios Gerenciales*, 28(123), 149–166.
https://www.academia.edu/4245142/DE_PUERTO_BERR%C3%8DO_A_LA_QUIEBRA_EL_FERROCARRIL_DE_ANTIOQUIA_Y_LOS_EMPRESARIOS_NACIONALES_Y_EXTRANJEROS?source=swp_share

- Correa Restrepo, J. S. (2012b). *Ferrocarriles y tranvías en Antioquia 2da edición*. Editorial CESA. <https://doi.org/10.57130/CESA.9789588722306.9789588722290>
- Currie, L. (1950). *The Basis of A DEVELOPMENT PROGRAM FOR COLOMBIA*. <http://documents1.worldbank.org/curated/zh/130721468770421467/pdf/multi0page.pdf>
- DANE. (2024a). *Cuentas nacionales trimestrales*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>
- DANE. (2024b). *Encuesta Anual de Servicios (EAS)*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/servicios/encuesta-anual-de-servicios-eas>
- Destraz, B., Barrade, P., & Rufer, A. (2004). Power assistance for diesel-electric locomotives with supercapacitive energy storage. *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551)*, 677–682. <https://doi.org/10.1109/PESC.2004.1355830>
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147. <https://doi.org/10.2307/2095101>
- Dittler, S. (2024). *Speed world record in the year 1903*. Siemens AG. <https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/stories/speed-world-record-1903.html>
- Dmitry, K., & Ekaterina, S. (2023, May 5). *UK scientists assess potential for using ammonia in locomotives*. Rolling Stock. <https://rollingstockworld.com/locomotives/uk-scientists-assess-potential-for-using-ammonia-in-locomotives/>
- Erdemir, D., & Dincer, I. (2021). A perspective on the use of ammonia as a clean fuel: Challenges and solutions. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 4827–4834. <https://doi.org/10.1002/er.6232>
- Escobar, A. (2011). *Encountering Development: The Making and Unmaking of the Third World* (Princeton University Press, Ed.).
- Escobar Muriel, O. (2008). *Y el Tren Llegó a Bogotá* (First). Apidama.
- Feldman, R. S. (2022). *Psicología con Aplicaciones* (McGraw-Hill Interamericana, Ed.; 15th ed.). <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=20754>
- Ferrocarriles Nacionales de Colombia. (1961). *Ferrocarril del Atlántico*. Plazas & Perry Ltda.

- Final Rule for Control of Emissions of Air Pollution From Locomotive Engines and Marine Compression-Ignition Engines Less Than 30 Liters per Cylinder , egulations for Emissions from Vehicles and Engines (2023). <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-control-emissions-air-pollution-locomotive>
- Fonseca, A., Arana, J., Claret, C., Ruíz Palacio, J. P., & Suarez, L. (2015). *Trenes muy antiguos* (p. 12). Susaeta Ediciones S.A.
- Frey, S. (2012). *Railway electrification systems & engineering* . White Word Publications. <https://search.worldcat.org/title/763160521>
- Frommer, F. (2023). *high-speed rail*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/high-speed-rail>
- García Alicastro, M. C. (2022). *Proyecto de Ley Ferroviaria Nacional PL 337 de 2023*. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/maria_constanza_garcia_-_ley_feroviaria.pdf
- George, D., & Mallery, P. (2016). *IBM SPSS Statistics 23 Step by Step*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315545899>
- Gil, B., & Pascual-Ezama, D. (2012). La metodología Delphi como técnica de estudio de la validez de contenido. *Anales de Psicología*, 28(3). <https://doi.org/10.6018/analesps.28.3.156211>
- González Franco, I. (2014). *Estimación del consumo de energía y emisisones de CO2 en trenes de mercancías y análisis de la variabilidad*. https://tecnicavialibre.es/documentos/articulos/VLT03_04.Nacho_Gonz%C3%A1lez.pdf
- Goodland, R. (1995). THE CONCEPT OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 26(1), 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000245>
- Gordon, E. (2016, September 1). *Diesel Locomotive: premiered in 1912*. Tehachapi News. https://www.tehachapinews.com/lifestyle/diesel-locomotive-premiered-in-1912/article_3c0ddb84-5ac6-5e35-bfa8-cfb8497002fb.html
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la Investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. (McGraw-Hill Interamericana, Ed.). Mc Graw Hill . <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=31455>
- Horna, H. (1973). Francisco Javier Cisneros: A Pioneer in Transportation and Economic Development in Latin America, 1857-1898. *The Americas*, 30(1), 54–82. <https://doi.org/10.2307/980447>

- Hoyos Körbel, P. F. (2023). *El ferrocarril de Caldas*. Hoyos Editores.
- Hughes Austin, & Drury, B. (2013). *ELECTRIC MOTORS AND DRIVES Fundamentals, Types, and Applications* (4th ed.). Elsevier.
- Instituto Técnico de Automoción. (2022, October 5). *Motores diésel y de gasolina: ¿Cuál es la diferencia?* Instituto Técnico de Automoción ITA.
<https://institutotecnicodeautomocion.net/motores-diesel-y-de-gasolina-cual-es-la-diferencia/>
- International Energy Agency. (2019). *The Future of Rail: Opportunities for energy and the environment*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- International Union of Railways. (2010). High speed rail Fast track to sustainable mobility. In *UIC*. https://uic.org/IMG/pdf/2010_high_speed_brochure_2010.pdf
- Jaramillo, F. (2019). *La Línea. De la historia constructiva del puente de la Explanación y la estación del tren de Boquía*.
<https://www.cronicadelquindio.com/noticias/quindio/la-lnea-de-la-historia-constructiva-del-puente-de-la-explanacin-y-la-estacin-del-tren-de-boqua>
- Journal, I. R. (2020, June). *Indian Railways launches electric double-stack container operation*. <https://www.railjournal.com/freight/indian-railways-launches-electric-double-stack-container-operation/>
- Kerr Jr., C. (1944). Locomotives—Today and Tomorrow: Current Developments in Steam, Turbine, Turbine Electric, Diesel, Gas Turbine, and Electric Locomotives. *The Analysts Journal*, 44–54. <https://www.jstor.org/stable/45239171>
- Knauf Industries. (2022, September 30). *Ventajas y desventajas del hidrógeno como combustible para el automóvil*. Knauf Industries.
<https://knaufautomotive.com/es/ventajas-y-desventajas-del-hidrogeno-como-combustible-para-el-automovil/>
- Kohon, J., Champin, J., Rodríguez, M., & Cortés, R. (2016). *Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia*.
<https://www.ani.gov.co/sites/default/files/desafios-del-transporte-ferroviario-de-carga-en-colombia.pdf>
- Koprivica, R. (2018). *Conventional transport*. Montecargo.
<https://www.montecargo.me/en/usluge/konvencionalni-prevoz/>
- Krippendorff, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781071878781>

- Lawrence, M., Bullock, R., & Liu, Z. (2019, June 6). China's High-Speed Rail Development. *World Bank Group*.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/933411559841476316/chinas-high-speed-rail-development>
- Ley 1508 de 2012, Diario Oficial (2012).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=45329>
- Lindsey, R., Quinet, E., & Vickerman, R. (2011). *A HANDBOOK OF TRANSPORT ECONOMICS*. Edward Elgar Publishing, Inc.
- Liudvinavicius, L., & Povilas, L. (2011). Management of Locomotive Tractive Energy Resources. In *Energy Management Systems*. InTech. <https://doi.org/10.5772/18801>
- MAN Energy Solutions. (2023). *MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia*. MAN Energy Solutions. <https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia.pdf>
- Marcos Fernando. (2022). *MAN B&W Ammonia engine*.
<https://ingenierosnavales.com/wp-content/uploads/2022/03/MAN-Energy-Solutions-Fernando-Marcos-1.pdf>
- Martins, P. H. (2011). *Sistema-mundo, globalizaciones y América Latina*. Tesseo Press.
<https://www.teseopress.com/dialogosenalabras/chapter/sistema-mundo-globalizaciones-y-america-latina/#return-footnote-129-1>
- Meisel Roca, A., Ramírez, M. T., & Jaramillo Juliana. (2014). Muy tarde pero rentables: Los ferrocarriles en Colombia durante el período 1920-1950*. *CUADERNOS DE HISTORIA ECONÓMICA Y EMPRESARIAL*, 34.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3rd ed.). SAGE. <https://www.metodos.work/wp-content/uploads/2024/01/Qualitative-Data-Analysis.pdf>
- Ministerio de Transporte. (2023a). *Plan nacional de desarrollo sector transporte 2022-2026*. Presidencia de La República.
<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/11459/plan-nacional-de-desarrollo-sector-transporte/>
- Ministerio de Transporte. (2023b). *Transporte en Cifras*.
<https://plc.mintransporte.gov.co/Estad%C3%ADsticas/Transporte-en-Cifras>
- Ministerio de Transporte. (2024, March 14). *Gobierno del Cambio impulsa la reactivación férrea en el país*. Presidencia de La República.

- <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/11661/gobierno-del-cambio-impulsa-la-reactivacion-ferrea-en-el-pais/>
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (1995). *Power Electronics: Converters, Applications and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Morales García, C. Y. (2013, December 8). *Ancho de trocha en los ferrocarriles colombianos*. Transvial. <https://transvial.wordpress.com/2013/12/08/ancho-de-trocha-en-los-ferrocarriles-colombianos/>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>
- Nilson, P. (2023, June 5). *The 10 fastest high-speed trains in the world*. Railroad Technology. <https://www.railway-technology.com/features/the-10-fastest-high-speed-trains-in-the-world/?cf-view>
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678>
- Núñez, R. (1874). *El Ferrocarril del Norte. Un punto cardinal del problema*. <https://babel.banrepcultural.org/digital/api/collection/p17054coll10/id/1062/download>
- Nunno, R. (2018, May 30). *Electrification of U.S. Railways: Pie in the Sky, or Realistic Goal?* Environmental and Energy Study Institute (EESI). <https://www.eesi.org/articles/view/electrification-of-u.s.-railways-pie-in-the-sky-or-realistic-goal>
- OCDE, CEPAL, & CAF. (2013). *Perspectivas Económicas de América Latina 2014*. OCDE. <https://doi.org/10.1787/leo-2014-es>
- Olsen, J. P. , M. J. G. (1989). *Rediscovering Institutions : The Organizational Basis of Politics* (1st ed.). The Free Press.
- Ortega Díaz, A. (1923). *Ferrocarriles Colombianos, Resumen Histórico: Vol. XXVI*. Imprenta Nacional.
- Ortega Díaz, A. (1949). *Ferrocarriles Colombianos, Legislación Ferroviaria*. Imprenta Nacional.
- Ortiz Cassiani, J. (2018). *Un Diablo al que le llaman tren*. Fondo de Cultura Económica.
- Oviedo, H. C., & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, XXXIV(4). <https://www.redalyc.org/pdf/806/80634409.pdf>

- Pablo Alejandro Higueta, & Alcaldía local de Cisneros. (2024, August 3). *La locomotora 8 con su silbato ajustado y afinado, nos da un deleite con su suave y precioso movimiento*. Alcaldía Municipal de Cisneros. <https://fb.watch/vdqzUjHDud/>
- Pablo Alejandro Higueta, & Mi Pueblo. (2024, May 1). *Detalles de la Locomotora 8, la joya ferroviaria que llegará a Cisneros en los próximos días....* Mi Pueblo. <https://fb.watch/vdqdwQNjf6/>
- Pachón, A., & Ramírez, M. T. (2006). *LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN COLOMBIA DURANTE EL SIGLO XX* (Banco de la República, Ed.). Ediciones Fondo de cultura Económica.
- Panwar, R. (2021). *Channel Tunnel: Construction of the World's Longest Underwater Tunnel*. <https://theconstructor.org/geotechnical/channel-tunnel-construction/199091/>
- Parker, T. (2023, June 23). *Exploring the archive of a Stockton & Darlington Railway pioneer*. <https://museumcrush.org/exploring-the-archive-of-a-stockton-darlington-railway-pioneer/>
- Patel, P. (2024, June 2). *The Haber-Bosch Process : What Is It And Why Is The Process So Important ?* ScienceABC. <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/the-haber-bosch-process-what-is-it-why-is-the-process-so-important.html>
- Pérez Ángel, G. (2007). *Nos Dejó el tren* (G. Perez Ángel, Ed.). Ediciones Cisnecolor.
- Pervez, S. (2023, June). *Four stroke engine and its parts*. Merchant Navy Decoded. <https://www.merchantnavydecoded.com/four-stroke-engine/>
- Plan Maestro Ferroviario, Presidencia de la República (2020). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Plan-Maestro-Ferroviario.pdf>
- Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 (2023). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- Poveda Ramos, D. (2010). *Carrileras y Locomotoras*. Fondo Editorial Universidad Eafit.
- Presidencia de la República de Colombia. (2023). *Rafael Núñez Moledo*. Presidencia de La República. <http://historico.presidencia.gov.co/asiescolombia/presidentes/34.htm>
- Pulido, D., Darido, G., Muñoz-Raskin, R., & Moody, J. (2021). *MANUAL PARA EL DESARROLLO DE FERROCARRILES URBANOS* (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Ed.). Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. www.worldbank.org

- Pulity, R. (2022, September 26). *What Colombia can teach us about sustainable transport*. World Bank Group. <https://blogs.worldbank.org/en/voices/what-colombia-can-teach-us-about-sustainable-transport>
- Quintella, G. (2016, May 25). *The challenges of integrating the South American railways*. Global Railway Review. <https://www.globalrailwayreview.com/article/27439/the-challenges-of-integrating-the-south-american-railways/>
- Rail BI. (2024). *Sustainable Rail Solutions: Innovations For A Greener Future*. Insight Software Edinburgh Ltd. <https://railbi.com/sustainable-rail-solutions-innovations-for-a-greener-future/>
- Rail Freight. (2021, February 11). *Operail started converting its first LNG freight locomotive*. RailFreight.Com. <https://www.railfreight.com/technology/2021/02/11/operail-started-converting-its-first-lng-freight-locomotive/?gdpr=deny>
- railsiferraduras. (2021, September 30). *La tracción humana por empuje*. <http://railsiferraduras.blogspot.com/2021/09/la-traccion-humana-por-empuje.html>
- Railway Gazette International. (2024, September 18). *ABB's Traction Solutions: Powering the Future of Sustainable Transportation*. <https://www.railwaygazette.com/sponsored-content/abbs-traction-solutions-powering-the-future-of-sustainable-transportation/67360.article>
- Raj, P. (2023). *Liquid and Compressed Natural Gas as Locomotive Fuels*. https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/18511/Liquid%20and%20Compressed%20Natural%20Gas%20and%20Locomotive%20Fuels%20brochure.pdf
- Ramírez, D. (2023). *El Tranvía de Groß-Lichterfelde, primer tranvía eléctrico del mundo*. Enerlink. <https://blog.enerlink.com/el-panorama-actual-del-transporte-publico-electrico-a-nivel-mundial>
- Ramírez, M. T. (2001). Los ferrocarriles y su impacto sobre la economía colombiana. *Revista de Historia Económica / Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 19(1), 81–122. <https://doi.org/10.1017/S0212610900008946>
- RAND Corporation. (2023). *Delphi Method*. <https://www.rand.org/topics/delphi-method.html>
- REN21. (2024). *Renewables 2024 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

- República Argentina. (2017). *Guía de eficiencia energética para motores eléctricos*. Ministerio de Energía y Minería de la Nación. https://realc.olade.org/docs/doc_300721_20201214114652.pdf
- República Argentina. (2020, February 27). *Las empresas ferroviarias estatales oficializaron un Comité de Género para garantizar la equidad laboral*. Ministerio de Economía. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/las-empresas-ferroviarias-estatales-oficializaron-un-comite-de-genero-para-garantizar-la>
- Revelle, W. (2024). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research* (R package version 2.4.6.). Northwestern University. <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.
- Ricardo plc. (2023). *Introducing Hydrogen in Railways*. <https://www.ricardo.com/media/3mvk5hq2/introducing-hydrogen-guide.pdf> Document
- Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth* (2nd ed.). Massachusetts Institute of Technology. <http://piketty.pse.ens.fr/files/BarroSalaIMartin2004.pdf>
- Rodríguez, J.-P., & Notteboom, T. (2024). The Geography of Transport Systems. In *The Geography of Transport Systems* (6th ed.). Routledge. <https://transportgeography.org/>
- Ros, J. (2010). Reformas microeconómicas, política macroeconómica y crecimiento. El caso de México. *Econoquantum*, 6(1), 137–142. <https://doi.org/10.18381/eq.v6i1.106>
- Salazar Montes, O. H. (2024, July 23). *Presentación Agencia Nacional de Infraestructura*. ANI. <https://www.ani.gov.co>
- Schwikowski, M. (2022, October 2). *Is Africa's ambitious railway project running late?* Deutsche Welle. <https://www.dw.com/en/africa-is-the-continent-ambitious-railway-project-running-late/a-63268830>
- Scientific American. (2023). *Solar and Wind Power Could Ignite a Hydrogen Energy Comeback*. Scientific American. <https://www.scientificamerican.com/article/solar-and-wind-power-could-ignite-a-hydrogen-energy-comeback/>
- Scott, R. (2001). Institutions and Organizations. *Foundations for Organizational Science*, 280. <https://doi.org/10.1108/01437730310505902>
- Semmens, P. W. B. G. A. J., & Goldfinch, A. J. (2000). *How Steam Locomotives Really Work*. Oxford University Press.
- Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. Oxford University Press. https://kuangaliablog.files.wordpress.com/2017/07/amartya_kumar_sen_development_as_freedombookfi.pdf

- Shaughnessy, J. J., Zechmeister, E. B., & Zechmeister, J. S. (2012). *Research Methods in Psychology* (9th ed.). McGraw-Hill.
<https://steladhima.files.wordpress.com/2014/03/john-j-shaughnessy-eugene-b-zechmeister-jeanne-s-zechmeister-research-methods-in-psychology-2012.pdf>
- Siemens AG. (1996). Siemens presents the world's first electric railway. *Siemens AG*.
<https://www.siemens.com/global/en/company/about/history/stories/on-track.html>
- Siemens AG. (2024). *Vectron Dual Mode – keeps going where the wire ends*.
<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rolling-stock/locomotives/vectron/dual-mode.html>
- Smith, S. C., & Todaro, M. P. (2020). *Economic Development* (Pearson, Ed.; 12th ed.).
https://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/onlineBook/F5v9e6_Economic%20Development-2020.pdf
- Stagl, J. (2023). *Liquefied natural gas could help railroads reap locomotive benefits if regulatory, technical issues are resolved*. Progressive Railroading.
<https://www.progressiverailroading.com/mechanical/article/Liquefied-natural-gas-could-help-railroads-reap-locomotive-benefits-if-regulatory-technical-issues-are-resolved--39693>
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2010). *SAGE Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research* (2nd ed.). SAGE Publications, Inc.
<https://doi.org/10.4135/9781506335193>
- The Army Historical Foundation. (2024). *Railroaders in Olive Drab: The Military Railway Service in WWII*. <https://armyhistory.org/railroaders-in-olive-drab-the-military-railway-service-in-wwii/>
- The Railway Technical Website. (2019). *Diesel Locomotives*. The Railway Technical Website. <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-l/diesel-locomotives/>
- The Royal Institution. (2023). *Michael Faradays electric magnetic rotation apparatus (motor)*. The Royal Institution. <https://www.rigb.org/explore-science/explore/collection/michael-faradays-electric-magnetic-rotation-apparatus-motor>
- UNDP. (2020). *Human Development Report 2020*. <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2020>
- UNECE. (2018, January 24). *UNECE study highlights potential of rail for sustainable transport systems, but no “one size fits all” approach to railway reform*. United

- Nations Economic Commission for Europe. <https://unece.org/transport/press/unece-study-highlights-potential-rail-sustainable-transport-systems-no-one-size>
- Universidad EAN. (2023). *Grupos de investigación EAN*.
<https://universidadean.edu.co/investigacion/grupos-de-investigacion>
- Vargas Hernández, J. G. (2008). Análisis Crítico De Las Teorías Del Desarrollo Económico. *Economía, Gestión y Desarrollo* , 6, 109–131.
https://www.researchgate.net/publication/23935088_ANALISIS_CRITICO_DE_LAS_TEORIAS_DEL_DESARROLLO_ECONOMICO
- Vergara Benedetti, A. F. (2008). *La incidencia de las políticas públicas en el fin del sistema ferroviario en Colombia* [Universidad de los Andes].
<http://hdl.handle.net/1992/20318>
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470168066>
- Wabtec Corporation. (2023). *ES58ACi Locomotive*. ES58ACi Specifications at a Glance.
<https://www.wabteccorp.com/locomotive/heavy-haul-locomotives/es58aci-locomotive>
- World Bank. (2022). *World Development Indicators*.
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

11. Anexos

Anexo 1 Marco – Filmográfico.docx

Anexo 2 Bibliografías Anotadas.docx

Anexo 3 Encuesta Público General (1-147).xlsx

Anexo 4 Informe General Encuesta Aplicada.docx

Anexo 5 Validación De Encuesta Cualitativa-Cuantitativa Alfa De Crombach.docx

Anexo 6 Entrevistas Expertos.docx

Anexo 7 Resultados Entrevistas – Método Delphi.docx

Anexo 8 Fichas Técnicas Instrumentos Usados.docx

Anexo 9 Consentimientos Firmados Expertos.docx

Anexo 10 Proyecto Turístico De Cisneros.docx

Anexo 11 Folletos Portafolio Turístico Cisneros.docx

Anexo 12 Proyecto Tren Del Rio.docx