Vías férreas en Colombia, ancho y ciclo de vida en gestión de activos

Luis García-Monge Piedra

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos

Tutor:
Juan Carlos Orrego Barrera, Magister en Gestión energética industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión de Activos

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	*(Moreno Fernandez, Prehistoria del Ferrocarril, 2018)*
Referencia **Estilo APA 7ª Edición**	*Vías férreas Colombia, ancho y ciclo de vida en gestión de activos* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons CC BY NC SA

Especialización en Gestión de Activos.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia
Sistema de Bibliotecas
Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositório Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co
Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.
Decano: Francisco Vargas
Jefe departamento: Pedro león Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico esta monografía a mi familia por todo lo que me han dado en este tiempo y que espero poder devolverles con creces.

Tabla de Contenido

Resumen *8*
Abstract *9*
Planteamiento del Problema *10*
Antecedentes **11**
Pregunta del Problema principal **12**
Preguntas de los Problemas secundarios 12
Objetivos **12**
General 12
Específicos 13
UNO - Anchos vía 13
DOS – Interconexión 13
TRES - Estrategia 13
CUATRO - Beneficios económicos 13
CINCO - Conclusiones 13
Marco Teórico *14*
Breve historia del ferrocarril **14**
Ferrocarril en Colombia **16**
Historia del ancho de vía **18**
Evolución del ancho de vía 18
Tipos de ancho de vía 21
Consolidación del ancho de vía de Stephenson como ancho internacional 23
Ancho de vía en Colombia 24
Normativa **27**
Normativa internacional 27
Normativa en Colombia 28
Estado del arte *30*
Que se ha escrito en Colombia **30**
Estudios y Normativa en Colombia **32**
Actualidad en Colombia, 2023 ..... **36**
Nueva ley ferroviaria 36
Situación actual de la red ferroviaria en Colombia 39
Futuros proyectos en Colombia 40
Paralelismo con España **41**
Soluciones de operabilidad en España **43**
Como cambiar 20,000 km de vías en 2 días. Estados Unidos 1886 ..... **44**
Desarrollo técnico *46*
Anchos de vía **46**
Comparación técnica entre los anchos de trocha de vía: yárdica versus estándar 46
Tipo de suelos y relieve del terreno 49
Interconexión **51**
Proceso en España 51
Proceso en Estados Unidos de América 52
Proceso en Reino Unido 52
Coexistencia de varios anchos de vía 52
Estrategia **53**
Transbordo de mercancías entre trenes mediante grúas 53
Instalación de un tercer riel en la misma vía 54
Cambiar los ejes del material rodante de forma manual 55

Sistemas automáticos de cambio de ancho 56
Beneficios económicos 59
Comparativa económica construcción ancho de vía yárdica y estándar.....59
Comparativa económica mantenimiento ancho de vía yárdica y estándar 60
Coste transporte carga por vía férrea en Colombia 61
Impactos ambientales del cambio de medio de transporte.....64
Conclusiones 66
Referencias 72

Figuras

Figura 1 Etapas del ciclo de vida de los activos 10
Figura 2 Ancho de vía 18
Figura 3 Líneas de ferrocarril en distintos anchos de vía 20
Figura 4 Tipos de ancho de vía 22
Figura 5 Principal normativa internacional sistema ferroviario 27
Figura 6 Red ferroviaria en Colombia 2023 39
Figura 7 Futura red ferroviaria en Colombia 40
Figura 8 Ancho de vía en Estados Unidos por regiones, 1865 45
Figura 9 Condicionantes técnicos relativos al trazado e infraestructura..... 47
Figura 10 Carga máxima por eje 48
Figura 11 Velocidad máxima en curva 48
Figura 12 Modelo de distribución de tensiones en la capa de balasto 49
Figura 13 Ventajas e inconvenientes trocha de vía: yárdica versus estándar 50
Figura 14 Transbordo de carga entre trenes 53
Figura 15 Vía de tres carriles 54
Figura 16 Sistema de cambio de ejes para vagones de mercancías 55
Figura 17 Cambiador de ancho de vía Talgo-CAF 56
***Figura 18 Cambiador de ancho de vía eje OGI* 58**
Figura 19 Cuadro Resumen de costo por km de tipo de ancho de vía..... 59
Figura 20 *Incrementos en el coste de una nueva línea de ancho estándar.* .. 60
Figura 21 Carga movilizada versus inversión 61
Figura 22 Reparto de transporte de carga por modo de transporte 62
Figura 23 *Costo para exportar un contenedor desde Bogotá (USD)* 63
Figura 24 Media de emisiones CO2 de diferentes formas de transporte 64
Figura 25 Emisiones CO2 para Colombia en 2021 carretera y ferrocarril 65

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AAR	Association of American Railroads
ADIF	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
ANI	Agencia Nacional de Infraestructura
APA	American Psychological Association
AREMA	American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ENL	Encuesta Nacional Logistica
ERA	European Union Agency for Railways
FNC	Ferrocarriles Nacionales de Colombia
FRA	Federal Railroad Administration
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HGV	Heavy Goods Vehicle
IWW	Inland Waterway
UdeA	Universidad de Antioquia
UIC	Unión Internacional de Ferrocarriles

Resumen

El ferrocarril es un medio de transporte que utiliza vagones o trenes impulsados por locomotoras, y que se desplaza sobre rieles o vías. El ferrocarril ha sido una de las invenciones más importantes de la historia de la humanidad, ya que ha permitido la expansión del comercio, la industrialización y el crecimiento de las ciudades.

Es por ello que es necesario definir desde el inicio sus características básicas para su correcto desarrollo, entre ellas el ancho de la vía.

A lo largo de la historia se establecen diferentes anchos de vía en diferentes países y regiones del mundo debido a razones técnicas, políticas y económicas que influyen en la elección de su ancho.

Cada opción de anchos de vía usada tiene sus ventajas e inconvenientes, con sus implicaciones técnicas, operativas y económicas. Existen unos estándares internacionales actuales en cuanto a anchos de vía en ferrocarriles que permiten la correcta la interoperabilidad entre diferentes redes de ferrocarril entre diversos países (por ejemplo, en la Unión Europea) y entre varios sistema de transporte (ferroviario, carreteras, fluvial y aéreo)

Hoy en día, el ferrocarril sigue siendo un medio de transporte importante en muchos países, especialmente para el transporte de mercancías a largas distancias y en el transporte público en ciudades con sistemas de metro, tranvias y trenes suburbanos. Además, el ferrocarril sigue siendo un icono cultural y un importante hito en la historia del transporte y la tecnología.

Palabras clave: ferrocarril, vías férreas, ancho de vías, gestión de activos, operación, mantenimiento, interoperabilidad, inversión, costo, emisiones CO2.

Abstract

The railway is a means of transport that uses wagons or trains driven by locomotives, and that travels on rails or tracks. The railway has been one of the most important inventions in the history of humanity, since it has allowed the expansion of trade, industrialization and the growth of cities.

That is why it is necessary to define from the beginning its basic characteristics for its correct development, including the width of the track gauge.

Throughout history, different track gauges are established in different countries and regions of the world due to technical, political and economic reasons that influence the choice of gauge.

Each track gauge option used has its advantages and disadvantages, with its technical, operational and economic implications. There are some current international standards in terms of railway track gauges that allow correct interoperability between different railway networks between different countries (for example, in the European Union) and between various transport systems (rail, roads, fluvial and air).)

Today, rail is still an important mode of transportation in many countries, especially for transporting goods over long distances and in public transportation in cities with subway, tram and suburban rail systems. Furthermore, the railway remains a cultural icon and an important milestone in the history of transportation and technology.

Keywords: rail transport, railways, track gauge, asset management, operation, maintenance, interoperability, investment, cost, CO2 emissions.

Planteamiento del Problema

La infraestructura ferroviaria en Colombia es precaria y con falta de desarrollo desde hace más de 50 años a comparación con algunos de países de la región Latam y de los países occidentales y asiáticos.

Este atraso evidencia altos costos en el transporte de materias primas y mercancías (exportación e importación) desde los centros productores del interior de Colombia a los puertos y una pérdida de competitividad frente a los países vecinos. Es necesario la reconstrucción y renovación del sistema férreo priorizando la interoperabilidad del sistema con el transporte de carretera y fluvial.

Para ello es necesario definir y especificar las características de las vías férreas (concepción inicial del activo dentro de su Ciclo de Vida, Figura 1) y en particular cual es el ancho de vía a ser implantado en los nuevos proyectos y las modificaciones necesarias en los corredores existentes.

Figura 1

Etapas del ciclo de vida de los activos



Nota: Tomado de Anatomía de la gestión de activos Versión 3 Diciembre 2015

Antecedentes

La actual red ferroviaria de Colombia en operación tiene un ancho de vía yárdica (914 mm) por influencia de los ingleses en los procesos constructivos a finales del siglo XIX en toda Latinoamérica. Este ancho permitía adaptarse mejor, en esa época, a las pronunciadas pendientes a ser salvadas y al uso de menores radios de giro en las curvas, pero limitando el peso de la carga a ser transportada.

En Colombia sólo el Metro de Medellín y el ferrocarril privado de Cerrejón tienen un ancho de vía estándar (1,435 mm).

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) del Gobierno de Colombia del año 2023 contempla como inversión estratégica el fortalecer las principales infraestructuras y sistemas de transporte (férreo, aéreo, fluvial, marítimo y terrestre).

Entre los cuales, se destacan los siguientes proyectos:

- La Dorada - Chiriguaná
- Bogotá - Belencito
- Tren del Pacífico
- Bogotá Corredor férreo central
- Los trenes de cercanías (Tren del Río, Tren del Caribe, Regiotram del Norte, Tren del Eje Cafetero y Tren de Cercanías del Valle del Cauca)

Aún a la fecha, no se define cuál sería el ancho de vía más conveniente para los nuevos proyectos que se ejecutarán en Colombia (para viajeros y carga) y que permitan la correcta interoperabilidad de los diversos sistemas de transporte (carretero – ferroviario – marítimo – fluvial). Es necesario analizar desde el punto de vista del ciclo de vida del activo (vía férrea) las distintas opciones técnicas y compararlas económicamente.

Pregunta del Problema principal

¿Cuál es la mejor solución para el ancho de vía a ser usado en Colombia para los nuevos corredores ferroviarios?

Preguntas de los Problemas secundarios

¿Cuáles son las razones técnicas detrás de la elección del ancho de vía en los ferrocarriles?

¿Cómo afecta el tipo de ancho de vía a la velocidad y la eficiencia del transporte ferroviario?

¿Cómo afecta la elección el ancho de vía al ciclo de vida del corredor férreo (diseño, construcción, operación y mantenimiento)?

¿Cuáles son los costos y beneficios económicos del tipo de ancho de vía en ferrocarriles?

¿Cuáles son los impactos ambientales del incremento del uso del transporte ferroviario?

¿Qué hacer con los corredores ferroviarios existentes en Colombia?

Objetivos

Las principales metas para alcanzar del estudio son:

General

Analizar y comparar las distintas opciones técnicas de ancho de vía en los ferrocarriles que permitan la interoperabilidad frente a mantener las condiciones actuales e identificar sus implicaciones económicas en Colombia.

Específicos

El proceso cuenta con cinco grandes temas.

UNO - Anchos vía

Describir, desde el punto de vista técnico, las ventajas e inconvenientes de cada una de las posibles soluciones para proponer la mejor solución a implementar en Colombia.

- Nivel 1 Escala de Bloom y Gagné - Conocer

DOS – Interconexión

Identificar cómo se han llevado a cabo los procesos de interconexión de vías férreas en otros países y su factible aplicación en Colombia.

- Nivel 2 Escala de Bloom y Gagné - Comprender

TRES - Estrategia

Mostrar soluciones prácticas para la interoperabilidad de la carga en Colombia que permitan mejorar su competitividad en los mercados internacionales.

- Nivel 3 Escala de Bloom y Gagné - Aplicar

CUATRO - Beneficios económicos

Comparar dentro del ciclo de vida de gestión de activos de las vías férreas propuestas para Colombia, la sostenibilidad y viabilidad financiera de las mismas.

- Nivel 4 Escala de Bloom y Gagné - Analizar

CINCO - Conclusiones

Presentar los principales hallazgos del proyecto.

Marco Teórico

En este apartado se presenta un resumen de la evolución de la industria del ferrocarril desde su inicio en Inglaterra en el siglo XIX, su implantación en Colombia y su actual estado.

Breve historia del ferrocarril

El ferrocarril es uno de los medios de transporte más extendidos en el mundo que utiliza vagones o trenes impulsados por locomotoras y que se desplaza sobre rieles o vías. El ferrocarril y la Revolución Industrial (siglo XIX) han estado estrechamente relacionados, ya que el desarrollo del ferrocarril fue un factor clave en el crecimiento económico y la industrialización que caracterizó a esta época.

Durante la Revolución Industrial, que tuvo lugar en Europa y América del Norte a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, se produce una serie de avances tecnológicos que permitieron la producción en masa y la fabricación a gran escala. Esto, a su vez, dio lugar a un aumento de la demanda de materiales y productos manufacturados, lo que requirió nuevos medios de transporte para mover grandes cantidades de mercancías a largas distancias.

En la mayoría de los países, el ferrocarril se convierte así en una solución perfecta para este problema, ya que permite el transporte de grandes cargamentos de forma rápida y eficiente, lo que impulsa la economía y el comercio. Además, la construcción del ferrocarril genera empleo y demanda de materiales, lo que contribuye al crecimiento de la industria siderúrgica y metalúrgica

El origen del ferrocarril se remonta al siglo XVII, cuando se desarrollan los primeros sistemas de tranvías en Europa. Sin embargo, el ferrocarril tal y como lo conocemos hoy en día comienza a tomar forma en el siglo XIX. En 1804, el inventor inglés Richard Trevithick construye la primera locomotora de vapor, que se usa para transportar carbón en una mina de Gales (Moreno Fernandez, Prehistoria del Ferrocarril, 2018).

En 1829 George Stephenson inicia el desarrollo de la primera línea de ferrocarril urbana del mundo entre Liverpool y Manchester (abierta en 1830), decide usar un ancho de vía de 4 pies 8,5 pulgadas (1,435 mm) media pulgada a más del ancho empleado en las vagonetas mineras (estándar habitual de la época influenciado a su vez por el tamaño de las ancas de los caballos). De esta manera como se fija la dimensión del ancho que posteriormente se convertiría en internacional. A partir de ahí, la construcción de ferrocarriles se extiende por todo el mundo, especialmente en Europa (Bélgica, Francia y Alemania) y América del Norte.

La expansión del ferrocarril permite el transporte de mercancías y personas a largas distancias, lo que impulsa el crecimiento económico y la industrialización. Además, el ferrocarril se convierte en un medio de transporte masivo para las personas, lo que permite el crecimiento de las ciudades y la movilidad de la población.

A lo largo del siglo XIX y XX, el ferrocarril experimenta grandes avances tecnológicos, como la introducción de la electricidad, el desarrollo de locomotoras más potentes y eficientes, y la construcción de sistemas de vías más avanzados. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX, el ferrocarril comienza a perder terreno frente a otros medios de transporte, como el automóvil y el avión.

Hoy en día, el ferrocarril sigue siendo un medio de transporte importante en muchos países, especialmente para el transporte de mercancías a largas distancias y en el transporte público en ciudades con sistemas de metro y trenes suburbanos. Además, el ferrocarril sigue siendo un icono cultural y un importante hito en la historia del transporte y la tecnología.

Ferrocarril en Colombia

La historia del ferrocarril en Colombia es tumultuosa, con un atraso de unos 50 años frente al desarrollo en otros países y con un declive en la segunda mitad del siglo XX, pero con un renovado interés y desarrollo en la última década.

El ferrocarril llega a Colombia a mediados del siglo XIX. El primer ferrocarril que se construye en Colombia fue el de Panamá (77 kilómetros de largo, que se concluye en 1855) financiada por capital privado norteamericano, que busca enlazar los océanos Pacífico y Atlántico. Si bien la vía se construye en ancho estándar (1,435 mm) casi de inmediato se pasa a cinco pies (1,524 mm).

Diez años después, ya para 1.865, se inician una serie de líneas en el interior del país, comenzando en Barranquilla, Cúcuta, Medellín, Pacífico, Santa Marta, La Dorada, sabana de Bogotá y Girardot, las cuales en su gran mayoría se financian por la nación (50%), los privados (30%), departamentos (13%) y el resto por asociaciones mixtas. La financiación de muchas de dichas obras se efectúa haciendo emisión de deuda. Estas líneas permiten el transporte de pasajeros y mercancías (productos agrícolas y minerales) en todo el país y ayudan a estimular la economía colombiana

La mayoría de los ferrocarriles colombianos sufren problemas de contratos fallidos, pleitos, obras destruidas, financiaciones onerosas, errores técnicos y vacíos jurídicos.

Un desarrollador de la construcción de los ferrocarriles en Colombia es la industria del café, pues se construyen vías para sacar este importante producto de exportación desde las regiones productoras del grano hacia puertos fluviales en el rio Magdalena o directamente hacia los puertos del caribe y del pacifico.

Para el año 1930 la extensión de la red férrea en Colombia llega a los 2,700 km, toda ella en vía estrecha. Sin embargo, a partir de 1950, el auge del transporte por carretera y la falta de inversión en el mantenimiento y modernización de la infraestructura ferroviaria llevan al declive del ferrocarril en Colombia. A medida que la infraestructura ferroviaria se deteriora y las inversiones disminuyen, muchas líneas ferroviarias se cierran y se abandonan, coincidiendo con el crecimiento las vías carreteras.

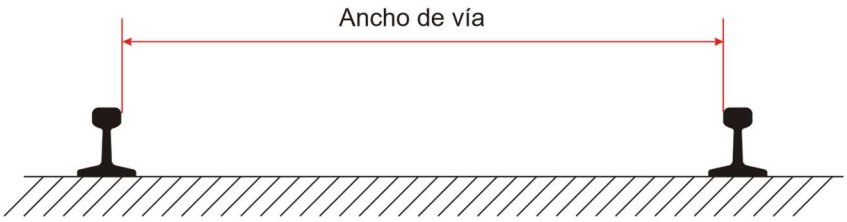
En 1954, se crea la empresa estatal Ferrocarriles Nacionales de Colombia, FNC, con el fin de unificar el sistema de transporte férreo y de operar y mantener su infraestructura y sus equipos para prestar un servicio eficiente. Actualmente la Agencia Nacional de Infraestructuras, ANI, e Invias han heredado toda la infraestructura de la extinta FNC (Escobar Muriel, 2021).

Historia del ancho de vía

Ancho de Vía: en ferrocarriles, el ancho de vía se refiere a la distancia entre las caras internas de los dos rieles de una vía férrea.

Figura 2

Ancho de vía



Nota: Representación gráfica del ancho de vía en ferrocarriles

Evolución del ancho de vía

En el Siglo XIX en las minas de carbón de Inglaterra, la separación habitual en las ruedas de los vagones que transportaban el mineral de carbón es de entre 1,40 y 1,50 m, una anchura adecuada para que los caballos que arrastran las vagonetas puedan caminar sin problemas entre los raíles que se usan. Fue en estas minas donde posteriormente Richard Trevithick introduce la fuerza del vapor para sustituir la fuerza animal, inventa el ferrocarril (Moreno Fernandez, 2018).

En 1829 George Stephenson inicia el desarrollo de la primera línea de ferrocarril urbana del mundo entre Liverpool y Manchester (abierta en 1830), para ello decide usar un ancho de vía de 4 pies 8,5 pulgadas (1,435 mm) media pulgada a más del ancho empleado en las vagonetas mineras (estándar habitual de la época influenciado a su vez

por el tamaño de las ancas de los caballos). Es de esta manera como se fija la dimensión del ancho que posteriormente se convertiría en internacional.

Desde la década de 1830, el éxito de Stephenson con el desarrollo de las primeras locomotoras de vapor modernas fomenta la difusión en Gran Bretaña del ancho de vía adecuado para sus máquinas (1,435 mm (4' 8 1/2")), diversas vicisitudes históricas llevaron a este ancho a convertirse en el más utilizado en el mundo, pasando a ser conocido como «ancho internacional» o «ancho estándar». Sin embargo, otra serie de circunstancias potencian por distintos motivos (principalmente económicos, defensivos, técnicos o prácticos) la existencia de una enorme diversidad de anchos de vía, ideados para satisfacer las más variadas necesidades de transporte.

Al mismo tiempo que en Gran Bretaña se construyen ferrocarriles de ancho estándar, la tecnología británica se exporta a países europeos (Bélgica, Francia y Alemania) y hacia algunos lugares de América del Norte, donde también se usa el ancho estándar.

En líneas generales los grandes recorridos (con distancias superiores a los 200 km o 300 km), en los que se concentran importantes masas de población y en los que la duración de los tiempos de viaje tiene una importancia comercial significativa, tienden a realizarse en vía estándar o vía ancha, lo que a su vez supone en muchas ocasiones el enlace con el mismo ancho a destinos secundarios por motivos políticos y de racionalización de las redes ferroviarias nacionales. En otras líneas, generalmente de segundo orden, en territorios con menor actividad económica y normalmente con orografía complicada, y donde la velocidad de los trenes no se considera un factor clave, se opta por ferrocarriles de vía estrecha (de 1000 mm o menos), cuya implantación es

considerablemente más barata que la de los trenes de vía ancha. En muchos países, la selección del ancho de vía fue pragmática, y la vía se adaptaba al tipo de material rodante importado. Si las locomotoras procedían de otro lugar (p.e, Inglaterra) especialmente en los primeros tiempos, la vía se construía para adaptarse al material rodante importado.

Hoy en día, aproximadamente entre el 55% y el 60% de las vías férreas del mundo emplean el ancho de Stephenson, ancho estándar.

Figura 3

Líneas de ferrocarril en distintos anchos de vía

LONGITUD DE LAS LÍNEAS FERROVIARIAS POR ANCHO DE VÍA (km)					
Ancho de vía (mm)	**VÍA ANCHA**		**VÍA ESTÁNDAR**	**VÍA ESTRECHA**	
	Anchas		**Estándar**	**Métrica**	**Otras**
	1676-1668	1600-1524	1445-1432	1067-1000	914-610
África	--	--	11.688	68.872	2.042
América Central	--	76	23.866	2.735	3.736
América del Norte	115	64	386.689	1.151	523
América del Sur	25.415	4.974	9.199	48.165	3.894
Asia Occidental	--	92	17.396	2.160	--
Asia Oriental	41.824	1425	63.473	71.394	7.179
Europa (*)	15.888	148.111	229.012	8.508	6.353
Oceanía	--	9.619	15.512	21.179	657
Longitudes totales	83.242	164.361	756.835	224.164	24.384
	247.603		756.835	248.548	
	1.252.986				
Porcentajes	20%		60%	20%	

Nota: Longitud de líneas de ferrocarril correspondiente a los distintos anchos de vía en diversas regiones

en diversas regiones del mundo Longitud total 1,252,986 km. Fuente: K. Henderson (1986) citado por (Ubalde, 2003)

Tipos de ancho de vía

Hay varios tipos de ancho de vía en uso en todo el mundo, que se clasifican en tres categorías principales:

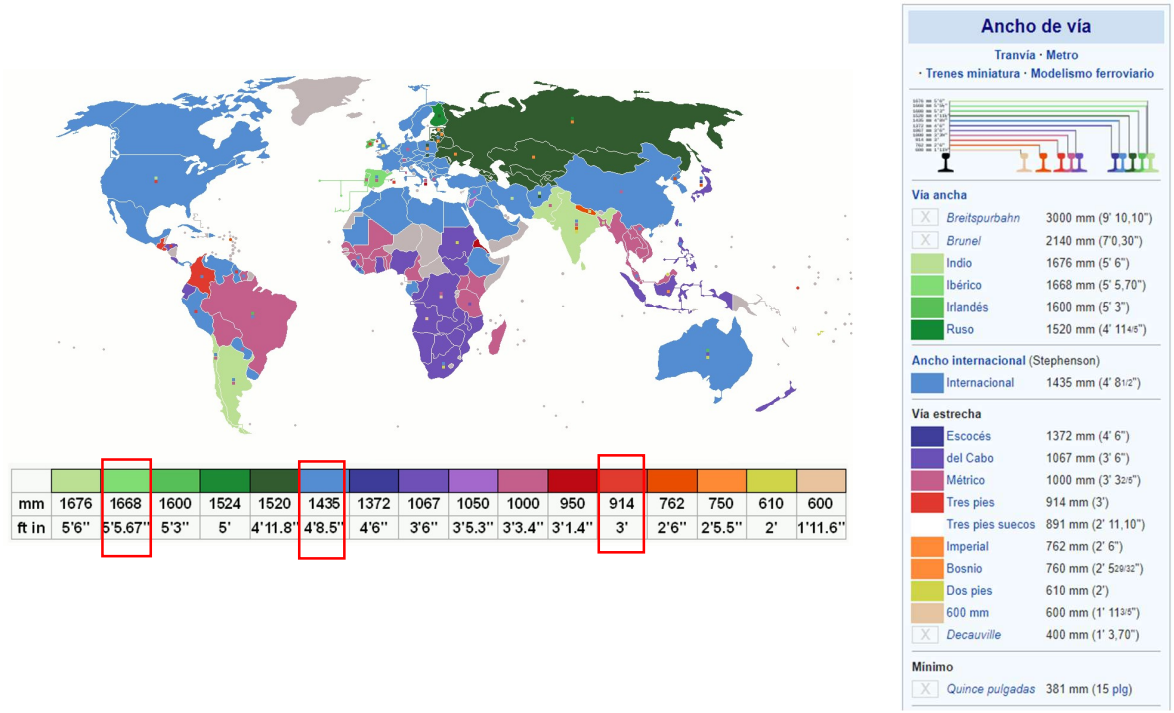
1. **Ancho de vía estándar (1,435 mm) :** también conocido como ancho de vía internacional o ancho de vía normal, este es el tipo más común de ancho de vía y se utiliza en gran parte de Europa, América del Norte y algunos otros lugares.

2. **Ancho de vía ancha (1,668 mm)** : también conocido como ancho de vía ibérico, este tipo de ancho de vía se utiliza en España y Portugal.

3. **Ancho de vía estrecha o angosta:** también conocido como trocha angosta, este tipo de ancho de vía se utiliza en muchos lugares, especialmente en zonas montañosas o rurales. El ancho de vía estrecha varía entre 600 y 1,067 mm, dependiendo del lugar donde se utiliza.

Figura 4

Tipos de ancho de vía



Nota: imagen tomada de Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Ancho_de_vía

Además, existen otros tipos de ancho de vía menos comunes, como el ancho de vía ruso (1,520 mm), que se utiliza en Rusia y otros países de la antigua Unión Soviética, y el ancho de vía de 3 pies (914 mm), que se usa en algunos lugares de América del Norte y Colombia (Geotren, 2022).

La decisión de usar un tipo u otro de ancho se debió a tres tipos de causas:

1. **Cuestiones técnicas derivadas de la orografía**

   En las vías férreas a mayor ancho de vía se permite transportar más carga y a mayor velocidad consiguiéndose mayor rentabilidad. En el caso de la vía estrecha,

si bien se pude transportar menor carga a velocidades más bajas, el trazado se adapta mejor a la orografía y se reducen las secciones de túneles y puentes. Como norma general, para largos recorridos se elige un ancho mayor para obtener una mayor rentabilidad, y en tramos más cortos y muy escarpados, donde el trazado era sinuoso y complicado, se elige la vía estrecha, por ser más económica.

2. **Motivos proteccionistas**

   Con el fin de obstaculizar la entrada de productos de otros países o mantener internamente mercados cerrados, algunos países toman esta opción (i.e. Estados Unidos). En la práctica, el cambio de ancho supone un freno a las importaciones, pero también a las exportaciones.

3. **Motivos estratégicos**

   Se usa con supuestos motivos defensivos para frenar posibles invasiones y dificultar a la entrada de tropas y armamento de un país a otro (i.e. Rusia antes de la invasión de Alemania).

Consolidación del ancho de vía de Stephenson como ancho internacional

El 18 de agosto de 1846, el Parlamento Británico fija exactamente en 4 pies y 81/2 pulgadas (aproximadamente 1435 mm) el ancho con el que construir las líneas en Inglaterra, Escocia y Gales, poniendo orden a la diversidad de anchos con el que creció el ferrocarril británico tras la inauguración de la línea Liverpool-Mánchester, convirtiéndose en el ancho nacional británico.

Suiza, como país fronterizo con otros cuatro países, impulsa una conferencia internacional para normalizar el ancho de vía en 1886. En la Conferencia de Berna se da

el paso definitivo, recomendando el ancho Stephenson de 1435 mm (4' 81/2") como ancho estándar internacional. Hoy en día, aproximadamente entre un 55 y un 60 % de las vías férreas del planeta emplean el ancho estándar, y la totalidad de las líneas de alta velocidad construidas en Europa (incluida España), China y Japón, se realizan en ancho internacional.

Con el paso del tiempo la mayoría de los países han optado por homogeneizar sus corredores ferroviarios de carga al ancho estándar, que permite que cada vagón pueden transportar hasta 100 toneladas a 100 km/h, alcanzando el doble de carga y duplicando la velocidad, respecto a los trenes de trocha angosta.

Además, el material rodante para trenes de trocha estándar es de mayor alcance comercial, mientras para el de trenes de trocha angosta se hace necesario recurrir a pedidos específicos para lograr su construcción lo que conlleva costos unitarios más altos.

Ancho de vía en Colombia

En Colombia, los ferrocarriles son mayoritariamente de vía angosta (también conocidos como vía estrecha) debido a la forma en que se construyeron las primeras líneas ferroviarias en el país en la década de 1860. Sólo la vía férrea privada del Cerrejón con 150 km que conectan las minas de carbón del Cerrejón con el puerto marítimo de Bahía Portete (1995) y el Metro de Medellín 28.8 km (2015) están construidas con ancho estándar, el resto (1,649 km) es de vía angosta.

En el siglo XIX las principales fábricas de componente ferroviarios (locomotoras, vagones, rieles) se encuentran en el norte de Inglaterra en el eje Liverpool-Manchester-Leeds, y se fabrican los equipos a demanda del cliente, sin una normativa estandarizada.

Ante esta libertad de decisión, en Colombia, durante el desarrollo de los proyectos ferroviarios, se opta por la construcción de un ferrocarril de ancho angosto (914 mm) por dos causas principales:

1. **Punto de vista del diseño:**

   Dado que en esa época la velocidad no era un limitante, el uso de este ancho permite diseñar una vía con mayor pendiente, radios de curvatura menores y reduciendo las dimensiones de túneles y puentes necesarios, por lo que el trazado se adapta mejor a la orografía accidentada de Colombia,

2. **Punto de vista constructivo:**

   La tecnología y los recursos disponibles para el transporte de los rieles limitan la distancia a la que se podía transportar por el país, por lo que resulta más practico acomodar rieles más cortos (más fáciles de transportar).

A medida que se construyeron más líneas ferroviarias en todo el país, muchas de ellas se construyen con el mismo ancho angosto para facilitar la interoperabilidad entre ellas.

En 1961 la red ferroviaria alcanza una longitud de 3.154 km. Con la tradicional trocha angosta, llegó a tener una longitud de 3.230 kilómetros, pero en 1995 solo están en uso 1.830 km. (El 56.5% de la red).

En el año 2004, el total de la red ferroviaria nacional alcanza los 3.371 km. De éstos 1.991 Km. corresponden a la red ferroviaria concesionada: 1.493 km de la red Atlántico y

498 km de la red Pacífico. El resto, 1.380 km, son líneas inactivas, que se distribuyen en 808 km para la de la Atlántico y 572 km para la del Pacífico.

Según datos del Ministerio de Transporte, Colombia posee en la actualidad a 2023 una red férrea de 3,533 kilómetros, de los cuales el 45% (1,610 km) están concesionados o están en proceso de serlo, el 49% (1,734 km) está inactivo y el 4% (150 km) está en comodato o en manos de privados (línea privada del Cerrejón).

Aunque el ancho de vía angosta es menos común en otros países, sigue siendo utilizado en varias partes del mundo, especialmente en líneas ferroviarias de menor tamaño o en áreas con terrenos difíciles. Aunque el ancho angosto tiene algunas limitaciones en términos de velocidad y capacidad de carga en comparación con el ancho estándar, sigue siendo una opción viable para el transporte ferroviario en Colombia (Ministerio de Transporte, 2011) (Ministerio de Transporte, 2020).

Normativa

Las principales normativas usadas se citan a continuación.

Normativa internacional

Existen diversas normativas internacionales relacionadas con el sistema ferroviario (infraestructura y equipamiento). Las más importantes son:

Figura 5

Principal normativa internacional sistema ferroviario

COTIF Convenio relativo a los Transportes Internacionales Ferroviarios	Este convenio establece las normas y requisitos para la circulación de trenes y el transporte de mercancías y pasajeros en el ámbito internacional. Fue firmado en Berna, Suiza en 1980 y actualizado en varias ocasiones
UIC Unión Internacional de Ferrocarriles	Esta organización establece estándares y recomendaciones para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas ferroviarios. También se encarga de promover la cooperación y el intercambio de conocimientos entre los operadores ferroviarios de todo el mundo
ERA Agencia Ferroviaria Europea	Esta agencia establece normas y requisitos técnicos para la interoperabilidad de los sistemas ferroviarios en Europa. También se encarga de la homologación y certificación de los equipos y componentes utilizados en los sistemas ferroviarios
IRIS Sistema Internacional de Evaluación de la Gestión de la Calidad para la Industria Ferroviaria	Este sistema establece los requisitos para la gestión de la calidad en la industria ferroviaria, incluyendo la fabricación, diseño y mantenimiento de equipos y sistemas ferroviarios
CEN/CENELEC Comité Europeo de Normalización/ European Committee for Electrotechnical Standarization	Estas organizaciones establecen normas técnicas para la interoperabilidad y la seguridad de los sistemas ferroviarios en Europa
AREMA American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association	Es un conjunto de estándares técnicos que abarcan una amplia gama de aspectos relacionados con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria
AAR Association of American Railroads	Es un conjunto de estándares técnicos que abarcan una amplia gama de aspectos técnicos relacionados con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los equipos y componentes ferroviarios

Nota: Principales normas internacionales del sistema ferroviario

Existen muchas otras normas y regulaciones específicas para diferentes aspectos de la industria ferroviaria, tales como la seguridad, el medio ambiente, la señalización y la infraestructura.

Normativa en Colombia

La normativa que rige el funcionamiento de los ferrocarriles en Colombia es principalmente la Ley 1682 de 2013, que establece el marco regulatorio para la construcción, operación, mantenimiento y explotación de los sistemas ferroviarios en el país. Además, existen otras normas y regulaciones que complementan esta ley, tales como:

- Decreto 1441 de 2014: Reglamenta la Ley 1682 de 2013 en lo relacionado con la reglamentación técnica y de seguridad para los sistemas ferroviarios.
- Resolución 1027 de 2016: Establece las especificaciones técnicas para la construcción, mantenimiento y explotación de los sistemas ferroviarios en Colombia.
- Resolución 1835 de 2016: Regula el régimen tarifario para el transporte de carga en los sistemas ferroviarios en el país.
- Resolución 257 de 2020: Establece las medidas preventivas para la mitigación del COVID-19 en el transporte ferroviario de pasajeros y carga.

Actualmente hay una propuesta del Gobierno para aprobar la Ley Ferroviaria Nacional PL 337 de 2023 (Ministerio de Transporte, 2023) con la intención de actualizar la Ley 76 del 1920 (Ministerio de Obras Publicas, 1920)que esta desactualizada. Es necesario actualizar la ley para definir un marco normativo que incluya las necesidades y condiciones actuales del mercado ferroviario en Colombia y de esta forma promueva la reactivación ferroviaria sostenible y eficiente.

El propósito de la nueva Ley Ferroviaria es definir y establecer las condiciones para el desarrollo de infraestructura ferroviaria nacional y regular la prestación del Servicio Público de Transporte Férreo. Adicionalmente brindar herramientas legales que permitan la reactivación definitiva y permanente del modo ferroviario en lo relacionado con la red férrea nacional, y que actúe con los demás modos de manera intermodal, interoperable y complementaria. En general, contiene disposiciones en infraestructura y transporte, y el marco institucional y financiero del modo.

En Colombia no hay una norma técnica propia que rija los temas de construcción, seguridad y operación de los corredores férreos, se dispone de un Manual de Normatividad Férrea donde se definen los aspectos técnicos de diseño, construcción, operación y control ferroviario, así como la complementación del glosario de términos técnicos ferroviarios, con el objetivo de regular las especificaciones mínimas de diseño, a ser utilizadas o acatadas por las empresas de construcción, mantenimiento y operación férrea en el territorio nacional (Ministerio de Transporte, 2013).

Siguiendo las buenas prácticas adoptadas por los países de la región, este Manual se basa en las normativas más utilizadas a nivel mundial:

- Federal Railroad Administration (FRA) del DOT
- AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association)
- AAR (Association of American Railroads)
- UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles)
- ERA (European Union Agency for Railways)

Estado del arte

Se desarrolla en varias secciones para una mejor cobertura.

Que se ha escrito en Colombia

Como indicado anteriormente, en Colombia se usa básicamente la trocha angosta o yárdica (ancho 914 mm) para el transporte ferroviario, y solo la trocha media o estándar (ancho 1,435 mm) en la vía férrea privada del Cerrejón y en el Metro de Medellín.

Según indica Arias de Greiff, J., durante el período de Julio Garavito como presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, 1916 a 1917, se debate, por solicitud del Senado de la República, el asunto de la trocha de los ferrocarriles colombianos. La discusión entre la trocha de metro y la yarda resulta equilibrada, pues a las ventajas técnicas de la estándar se contrapuso la mayor longitud de vías de yarda en Colombia. El ingeniero Jorge Acosta Villaveces insiste en que se pasara a trocha estándar lo antes posible y el colega Pedro Blanco propone dejarlas como estaban, pero construir las troncales de una vez en trocha estándar. Cualquiera de esas dos propuestas hubiera sido salvadora para los ferrocarriles colombianos cuarenta años después (Arias, 2017).

Como señala José Alvear Sanín, el debate sobre utilización de trocha yárdica o trocha estándar volvió de nuevo a debatirse en Colombia desde 1923. Entonces se propone construir un ferrocarril de Bogotá a la Costa Atlántica de trocha estándar, que bajaría por el Carare y que no iría a Santa Marta, sino a Cartagena y Barranquilla. Sin embargo en ese momento se considera que unificar todas las vías existentes a la trocha estándar es muy costoso y además sacaría de servicio a todas las locomotoras en operación en ese momento (Alvear, 2008).

Adicionalmente, comenta acertadamente José Alvear Sanín como la inversión en infraestructuras está supeditada a los problemas de financiamiento y los retos logísticos a los que se enfrenta Colombia a lo largo de su historia. Desde siempre el desarrollo de los diferentes modos de transporte, como el ferrocarril, las carreteras, los puertos y los aeropuertos se están enfrentado a desafíos constructivos dada la complicada orografía de Colombia con valles y altas montañas.

Esta situación la comparte Oswaldo Escobar Muriel, quien en su literatura técnica explora y detalla el desarrollo de los principales ferrocarriles que salen de Bogotá con destino el rio Magdalena, columna vertebral del transporte de carga hacia el exterior (Escobar Muriel, 2022).

El problema, y todos los debates sobre trocha en Colombia, es que nunca se tiene en cuenta que, si la trocha yárdica supera a la estándar en kilómetros construidos en el interior del país, era apenas una fracción en el mundo, una sexta parte a comienzos del siglo XX y apenas una décima a mediados del mismo.

Cabe destacar que dentro de las principales diferencias entre los dos tipos de trocha, se tiene que el ferrocarril de trocha estándar puede transportar hasta 100 toneladas a velocidades cercanas a 100 km/h, alcanzando el doble de carga y duplicando la velocidad, respecto a los trenes de trocha yárdica.

Adicionalmente, los trenes de trocha estándar tienen mejores condiciones comerciales para el suministro de material rodante, repuestos y componentes que los trenes de trocha yárdica, ya que en la mayoría de los casos las solicitudes de material

rodante deben realizarse sobre pedido, con tiempos de espera mayores y costos más elevados

No obstante lo anterior, los trenes de trocha angosta funcionan mejor sobre las empinadas montañas para vías secundarias no muy concurridas, mientras los de trocha estándar tienen mejor desempeño en el transporte troncalizado de carga a lo largo de los valles interandinos y en las zonas costeras.

Estudios y Normativa en Colombia

Pocos estudios técnicos se realizan en Colombia sobre este tema, pero cabe destacar el estudio del consorcio EPYPSA – ARDANUY[1] del 2013 que se realiza para el Ministerio de Transporte de Colombia[2]. Este estudio es el más completo que se realiza en Colombia sobre el ancho de trocha en las vías de ferrocarril (Epypsa-Ardanuy, 2013).

En el año 2013 el Ministerio de Transporte contrata una consultoría con el consorcio EPYPSA – ARDANUY para que se analicen las características técnicas, físicas, económicas financieras y operacionales de explotación y el costo beneficio de la infraestructura férrea existente y el de la utilización de trocha estándar, de tal forma que se tengan elementos de juicio para definir la viabilidad y pertinencia de un cambio de trocha.

El estudio parte de un diagnóstico de la infraestructura ferroviaria existente en Colombia y presenta varias alternativas de actuación sobre el cambio de trocha

[1] Consorcio EPYPSA – ARDANUY formado por dos empresas con sede en España, consultoras internacionales especializadas en proyectos de infraestructura ferroviaria.

[2] Anteriormente, en 1996, se le contrato a la empresa italiana SOTECNI SpA, la realización de un estudio sobre la problemática y costos adicionales para introducir cambios que permitieran la utilización de la trocha estándar en el ferrocarril del Atlántico, pero no se dispone de copia del mismo.

(conveniencia de seguir contando con el mismo tipo de trocha o cambiar a una trocha estándar o un escenario de redes mixtas), todo ello usando un análisis de costo-beneficio que permite definir la mejor solución que incluya la conectividad con otras líneas férreas existentes, con otros modos de transporte y con la infraestructura de otros países

El mismo estudio presenta una propuesta de implementación de tramos férreos con trocha estándar de acuerdo con unas priorizaciones propuestas y contempla otras variables de análisis de tipo económico como la rentabilidad de los proyectos y de tipo técnico como la interconectividad con otras líneas férreas existentes, con otros modos de transporte y con otros países.

Del diagnóstico realizado se obtienen las siguientes conclusiones:

- La principal conclusión del estudio es que la red férrea colombiana precisa de un cambio de trocha a estándar por razones estratégicas, de interoperabilidad con redes ferroviarias de grandes ciudades, de oportunidad de negocio de mercados internacionales y de desarrollo del marco normativo.
- Hay que tener en cuenta que el potenciamiento de la red ferroviaria también pasa por la movilidad de viajeros por ferrocarril.
- Respecto al tráfico de mercancías, hay que señalar del modo ferroviario, es el modo de transporte terrestre más capaz y menos costoso. Es viable un planteamiento de red con tráficos mixtos de mercancías y viajeros. Para estas redes y para la mejora de la seguridad ferroviaria, se recomienda que la operación del tráfico se centralice en un solo organismo que tenga capacidad de decisión y mando sobre los diversos operadores ferroviarios.

Estos mismas conclusiones son recogidas en un informe de la Dirección Técnica de la Cámara Colombiana de Infraestructura (Infraestructura, 2013) que adicionalmente destaca que

- Los trazados existentes y su trocha angosta en Colombia, los hace muy poco competitivos con los estándares internacionales (menos Ton/km recorrido).
- Necesidad de desarrollar la infraestructura para permitir la interoperabilidad y convertir Colombia en un importante centro logístico continental.

A raíz de este estudio hay un Proyecto de Resolución de Cambio de Trocha en el 2013 con el que se pretende adoptar la trocha estándar para la Red Férrea Nacional y que los corredores existentes (en trocha yárdica) presenten un plan de migración detallado a trocha estándar. Dicho proyecto no sale adelante.

Paralelamente, ese mismo año, 2013, el Ministerio de Transporte aprueba el Manual de Normativa Férrea para Colombia (Ministerio de Transporte, 2013). El objeto de este documento es la elaboración de capítulos de normatividad férrea para Colombia teniendo en cuenta aspectos técnicos de diseño, construcción, operación y control ferroviario, así como la complementación del glosario de términos técnicos ferroviarios, con el objetivo de regular las especificaciones mínimas de diseño, a ser utilizadas o acatadas por las empresas de construcción, mantenimiento y operación férrea en el territorio nacional.

Específicamente para el tema del ancho de trocha, en la Sección 6. Trocha, se indica lo siguiente respecto al diseño del ancho de vía:

Artículo 19. La trocha debe ser capaz de mantener operaciones de vehículo seguras y estables, dada la estructura del material rodante, la velocidad máxima diseñada y otros factores relevantes.

Artículo 20. La trocha de vía debe ser del siguiente modo para asegurar la operación segura del material rodante, y tendrá en cuenta la estructura del material rodante, como la anchura, y registros de rendimiento pasado.

(1) La trocha para líneas férreas ordinarias existentes es de 1 yarda, (914.4 mm) y de 1435.0 mm, según la línea considerada.

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

(3) Será posible la construcción de vías de trocha dual 914/1435 mm, aptas para ambos tipos de circulaciones, mediante la implantación de un tercer riel, según la decisión técnica que se determine y sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto.

(4) Se podrán emplear otros tipos de trocha, según la decisión técnica que se determine y sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto

De esta forma se pretende normalizar los aspectos técnicos de diseño (entre ellas el ancho de trocha), construcción, operación y control ferroviario, a ser utilizadas o

acatadas por las empresas de construcción, mantenimiento y operación férrea en el territorio nacional.

Actualidad en Colombia, 2023

La situación actualizada a 2023 es la siguiente:

Nueva ley ferroviaria

Nuevamente se está discutiendo a nivel del Gobierno de Colombia, Ministerio de Transporte ANI y sector privado, que ancho de trocha utilizar para modernizar y dinamizar las vías férreas y su conexión con los otros sistemas de transportes (carretero, fluvial y marítimo). Si bien en el año 2013 se presenta el Proyecto de Resolución de Cambio de Trocha (Mintransporte 2013) en el que se establece la necesidad de usar la trocha estándar (ancho 1,435 mm) en toda la red férrea nacional, poco se ha avanzado desde la fecha.

Recientemente se ha presentado para su aprobación en el Congreso de la República de Colombia el Proyecto Ley 337 de 2023 sobre Infraestructura Ferroviaria (Ministerio de Transporte, 2023).

Con este proyecto de ley, el Gobierno de Colombia pretende actualizar la Ley 76 del 1920 cuyo principal objetivo era definir lineamientos para el funcionamiento seguro de la operación ferroviaria en el país y prevenir posibles daños y perjuicios a la infraestructura ferroviaria y a terceros (Ministerio de Obras Publicas, 1920).

Dado el tiempo pasado, es normal que se quiera actualizar la ley para definir un marco normativo que incluya las necesidades y condiciones actuales del mercado

ferroviario en Colombia y en el resto del mundo, y de esta forma se promueva la reactivación ferroviaria sostenible y eficiente

El propósito de la nueva Ley Ferroviaria es definir y establecer las condiciones técnicas y legales para el desarrollo de infraestructura ferroviaria nacional, y regular la prestación del Servicio Público de Transporte Férreo en Colombia.

Con este proyecto de ley se pretende brindar herramientas legales que permitan la reactivación definitiva y permanente del modo ferroviario en lo relacionado con la red férrea nacional, y que actúe con los demás modos de manera intermodal, interoperable y complementaria.

En particular, en el Titulo III Infraestructura Ferroviaria, se definen los lineamientos y especificaciones técnicas para los siguientes componentes de la infraestructura ferroviaria:

- Pasos a nivel
- Conexión entre dos o más corredores o infraestructuras ferroviarias
- Ancho de vía o trocha (s bien se incluye la necesidad de evaluar la transición a trocha internacional para inicio al final del 2025, se deja abierto el uso de diferentes ancho de vía mientras se asegure la interoperabilidad).
- Gálibo ferroviario libre de obstáculos
- Zonas de servicio ferroviario: como talleres, zonas francas, zonas de actividades logísticas o complementarias a la operación ferroviaria que faciliten la intermodalidad.
- Sistemas inteligentes de la infraestructura, el tránsito y el transporte
- Incidencia de la infraestructura ferroviaria sobre el ordenamiento territorial.

- Declaratorias como bienes de interés cultural

Infelizmente se deja abierto el tipo de trocha a ser usado en los nuevos proyectos y en los existentes, dejándose libertad al Ministerio de Transporte conjuntamente con la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte y las entidades titulares ejecutoras el análisis de la mejor solución técnico/económica.

En el caso de los nuevos proyectos, a nivel de diseño geométrico deberá usarse los anchos dispuestos en la normativa internacional pero no de obliga a usar el ancho internacional en la disposición de los rieles.

Esto supone que una vez aprobada la ley se tenga que reglamentar estos aspectos para su implementación en la red férrea de Colombia

Situación actual de la red ferroviaria en Colombia

De acuerdo con datos de la ANI del 2023, en la actualidad, la red ferroviaria del país es limitada y se utiliza principalmente para el transporte de carga, especialmente de carbón desde las minas del interior del país hasta los puertos de exportación en la costa. De los 3,533 km existentes, solo está operativa 1,799 km (un 51%) repartido de la siguiente forma:

Figura 6

Red ferroviaria en Colombia 2023

Red operativa	**km**
Bogota-Talleres del Corzo	31
Bogota Belencito	257
La Caro-Zipaquirá	20
Corredor La Dorada-Chiriguaná	559
Red férrea del Atlántico	245
Red férrea del Pacifico	498
Cerrejón	150
Paz del Rio	39
TOTAL	1,799

Entidad	**km**
Invias	1,734
ANI	1,610
Privada	189
TOTAL	3,533

Nota: Kilómetros de red operativa en Colombia en el 2023 y total existente

Futuros proyectos en Colombia

En las últimas décadas, hay un renovado interés en el ferrocarril en Colombia, con la construcción de nuevas líneas ferroviarias y la modernización de la infraestructura existente. En 2015, se inaugura el Metro de Medellín, un sistema de tren ligero que se ha convertido en un modelo de transporte público eficiente y sostenible en Colombia.

Figura 7

Futura red ferroviaria en Colombia

	km
Ferrocarril de Antioquia tramos 1,2 y 3	324.7
Tren de cercanías del Valle del Cauca	72
Metro ligero Avenida 80	13.25
Tren del Rio	63
Primera Línea Metro de Bogota	23.96
Expansión Primera Línea Metro de Bogota	16
RegioTram Norte	48
RegioTram de Occidente	39.6
Tren del Caribe	238
Red férrea del Atlántico	38
Red férrea Privada	189
Total km	**1065.51**

Nota: Proyectos y kilómetros de los futuros proyectos previstos para Colombia

En el 2019 se adjudica en formato de concesión la Línea 1 del Metro de Bogota (tren elevado) y se tiene prevista la licitación, también en concesión, de la Línea 2 del metro (subterránea) para el 2024.

Adicionalmente se ha anunciado la construcción de nuevas líneas ferroviarias en todo el país (1,065 km) y la modernización de las existentes.

Paralelismo con España

Existe cierto paralelismo entre lo acontecido en España y Colombia con la construcción de vías ferroviarias de diverso ancho de trocha. Como indica Jesús Moreno, la obstinación de los ingenieros españoles en su preferencia de un ancho mayor de trocha (que permitiese mayores locomotoras a vapor) supone que en la península ibérica se desarrollen inicialmente las vías ferroviarias en un ancho de 1,668 mm (el denominado ancho ibérico) (Moreno Fernandez, 2018).

A partir de 1854, hay oportunidad de convertir las vías existentes (1,317 km) a un ancho normal (1,435 mm), pero la imposibilidad de asumir los costes de las indemnizaciones a los constructores y concesionarios existentes paralizó las tentativas del Gobierno a este cambio y supone que se continuase con el desarrollo del ancho ibérico en España.

Finalmente, con !a aprobación de la ley general de ferrocarriles de 1855 se adopta oficialmente en España el ancho ibérico (1,668 mm) contra la corriente europea.

Esta decisión, la de continuar con el ancho ibérico, en vez de su reemplazo por el ancho estándar, condiciona negativamente los ferrocarriles en la península ibérica en toda la

evolución de la industria ferroviaria en España, como también indica Moreno Fernández (Moreno Fernandez, 1996).

Durante el primer tercio del siglo XX, hay nuevamente intentos de estrechar las vías férreas y de construir algunas líneas con el ancho europeo (1,435 mm) pero, como en veces anteriores, fracasan. Al igual que en Colombia, en España se producen debates entre los gobiernos y las compañías ferroviarias en relación con la elección del ancho de vía.

Cabe destacar la situación vivida en Cataluña, descrita por Pere Macias i Arau en un contexto histórico. En 1848 se inaugura el primer tramo de ferrocarril en Cataluña en ancho estándar. A partir de ese momento el sistema ferroviario catalán se desarrolla de manera independiente y aislada del resto de España durante casi 150 años. Esto resulta en la falta de interoperabilidad y conexión fluida entre Cataluña y el resto de España (Macias i Arau, 2013).

La superación del aislamiento ferroviario se consigue en 1998, cuando se completa la línea de alta velocidad entre Barcelona y Madrid, que permite finalmente una conexión adecuada y rápida entre Cataluña y el resto de España.

En el caso de los ferrocarriles de vía estrecha desarrollados en España, Luis Ubalde Claver describe como su desarrollo ocurre como en otros países, siempre desde la perspectiva de abaratar el coste de construcción en trayectos de tipo secundario, donde no se espera obtener grandes rendimientos, y desde la perspectiva del transporte de carácter local, que no considera prioritaria la unión con la red principal (Ubalde, 2003).

Soluciones de operabilidad en España

Si bien durante muchos años convivieron diversos anchos de vía en España (estándar, ibérico y estrecho) en las últimas décadas se ha producido una transición a la unificación al ancho estándar que ha permitido la conexión con el resto de los países europeos.

Esta transición supone el desarrollo de sistemas automáticos de cambio de ancho entre ruedas en los trenes o la instalación de un tercer carril en aquellos tramos que lo permitan, con el fin de asegurar la operabilidad entre los distintos sistemas con diferentes anchos de vía.

Mucho se tiene escrito sobre la experiencia de la implementación del sistema de cambio automático de ancho de vía en el sistema ferroviario español, que permite modernizar y adaptar los trenes para que puedan circular tanto por vías de ancho ibérico (1,668 mm) como por vías de ancho internacional (1,435 mm), Alberto García Álvarez (García Alvarez, 2010) (García Álvarez, 2021), Luis Villaescusa y Fernando (Villaescusa y Fernando, 2013), Francisco José Morales Arroyo (Morales Arroyo, 2010), José Ignacio González Velayos (González Velayos, 2011).

Este cambio de ancho de vía es fundamental para facilitar la interoperabilidad y mejorar la conectividad entre España y el resto de Europa. Esta evolución no está exenta de desafíos técnicos que se aparecen durante la implementación de estos sistemas, pero que se han solventado con una mejora en la eficiencia, capacidad y reducción de costos.

Hay que resaltar la importancia de esta innovación para el desarrollo y la integración de los sistemas ferroviarios europeos y que puede ser usada como referencia en Colombia.

Como cambiar 20,000 km de vías en 2 días. Estados Unidos 1886

Caso distinto ocurre en los Estados Unidos de América donde en 1886 se realiza la reducción de más de 20,000 km de vía de ancho de 1,524 mm a ancho estándar (1,435 mm) en menos de 2 días (Puffert, 2009).

Tras el fin de la guerra civil los estados sureños intentan recuperarse económicamente de la derrota y para ello necesitan reactivar las relaciones comerciales con los estados del norte de los Estados Unidos.

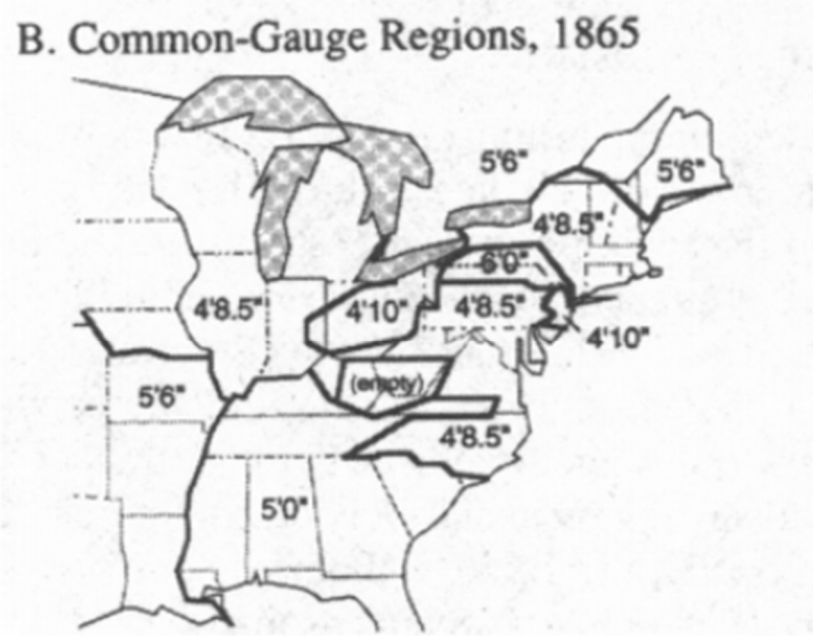
Mientras en los estados del sur el ancho de vía mayoritario es de 5 pies (1,524 mm) dado que en principio permite mas estabilidad a las locomotoras de vapor, en los estados del norte el ancho de vía predominante es el estándar (1,435 mm) donde se tiene además una longitud de vías 7 veces superior a los de sus vecinos del sur.

Debido a las dificultades en la transferencia de carga entre trenes de una vía a otra (tiempo y coste), las principales compañías ferroviarias sureñas deciden realizar un cambio coordinado del ancho de vía. Tras más de 4 meses de preparación, entre el 31 de mayo y 1 de Junio de 1886, se realiza con éxito el cambio de más de 20,000 km de vía, lo que permite la estandarización de los diferentes ancho de vía férrea existentes en toda la costa Este (Puffert, 2000).

Si bien esta solución es prácticamente inviable actualmente en la mayoría de los países por el coste y logística que supone, es un ejemplo de una decisión tomada a tiempo y que permite a los Estados Unidos el desarrollo económico de su industria

Figura 8

Ancho de vía en Estados Unidos por regiones, 1865



Nota: Figura con lo diferentes ancho de vía férrea en pulgadas en la costa Este de los Estado Unidos en 1865 (Puffert, The Standardization of Track Gauge on North American Railways, 2000)

Desarrollo técnico

A continuación se desarrollan varios temas técnicos relacionados con el ancho de vía de los ferrocarriles y los objetivos específicos de la monografía:

Anchos de vía

A continuación de describen las ventajas e inconvenientes de la trocha yárdica frente al ancho estándar (el más usado en la actualidad).

Comparación técnica entre los anchos de trocha de vía: yárdica versus estándar

En Colombia, como en otros países, con el fin de conseguir un menor coste de construcción y ejecutar los trabajos en un menor plazo de tiempo (dado que se realizan manualmente y con pocos recursos) inicialmente se extiende la construcción en un ancho inferior al estándar en zonas de relieve escarpado y montañoso, dado que anchos menores de vía permiten usar mayores pendientes (locomotoras y vagones más pequeños) y radios de curvatura menores (mejor acomodo del trazado a la orografía). En contraprestación los ferrocarriles de vía estrecha se caracterizan por tener una prestaciones más reducidas en cuanto a capacidad de carga (Ubalde, 2003).

El coste de un proyecto ferroviario este condicionado por 2 parámetros básicos:

- la inclinación máxima de las rampas (la pendiente)
- el radio mínimo del trazado en las curvas

Contrariamente a lo que se piensa, en los trenes de mercancías el ancho de vía estándar permite mayores pendientes dado que se dispone de una mayor relación entre el peso adherente y el peso total del tren (el ancho estándar permite locomotoras mayores).

El radio mínimo condiciona la velocidad de circulación del tren mientras que la inclinación está directamente relacionado con adherencia del vehículo. En la Figura 9 se resume como afecta estos parámetros al ancho estándar y a la yárdica:

Figura 9

Condicionantes técnicos relativos al trazado e infraestructura

	Ancho	
	Estandar	**Yardica**
Radio minimo de las curvas	**>**	**<**
Implica	> velocidad velocidad superior de un 18% al 15%	< velocidad > sensación de balanceo
Inclinación máxima de rampas		
Pasajeros	0.40%	0.60%
Carga	0.13%	0.09%
Implica	> adherencia	< adherencia
Incremento coste infraestructura	**entre un 6% al 17% superior**	**menor coste**
Superestructura de via	**Mejor distribucion de cargas al terreno**	**Se transmiten mayores cargas al terreno**

Nota: Estas diferencias no se perciben en el caso de servicios a velocidades reducidas

En general, en todos los países la trocha yárdica se plantea inicialmente como una forma de abaratar costes de infraestructura y de adaptar el trazado al terreno accidentado.

Las limitaciones de velocidad, confort y carga no se consideran inicialmente dada las propias limitaciones del material rodante usado (locomotoras a vapor) y la no existencia de un sistema de transporte alternativo más rápido (aéreo o carretero). Es con el paso del tiempo que se hace necesario el uso de trazados que permitan mayores velocidades, capacidad de carga y mayor confort para los pasajeros.

Figura 10

Carga máxima por eje

	Carga por eje t/eje
Estandar	22.5
Estandar Alta Velocidad	17
Estandar con mayor galibo	35
Yardica	15

Nota: Valores máximos por eje usualmente normados

Estas mismas conclusiones se desprenden de la comparación técnica realizada por Fernando Rey en su análisis del tren de cercanías de Bogotá. Si bien la decisión de uso de ancho de vía yárdica es correcta en un inicio cuando la velocidad no es un parámetro primordial y prevalece el costo de construcción, el criterio de selección debe basarse también en otros aspectos como los de capacidad de carga, demanda de tránsito e interoperabilidad (Rey, 2002).

Figura 11

Velocidad máxima en curva

DESCRIPCIÓN	TROCHA DE YARDA			TROCHA ESTÁNDAR		
	K	R (m)	V (km/h)	K	R (m)	V (km/h)
VELOCIDAD MAX. CURVA 1/2 V= K. R	3.36	150	40	4.60	150	50
		200	45		200	65
		250	53		250	73
		300	58		300	79
		500	75		500	103

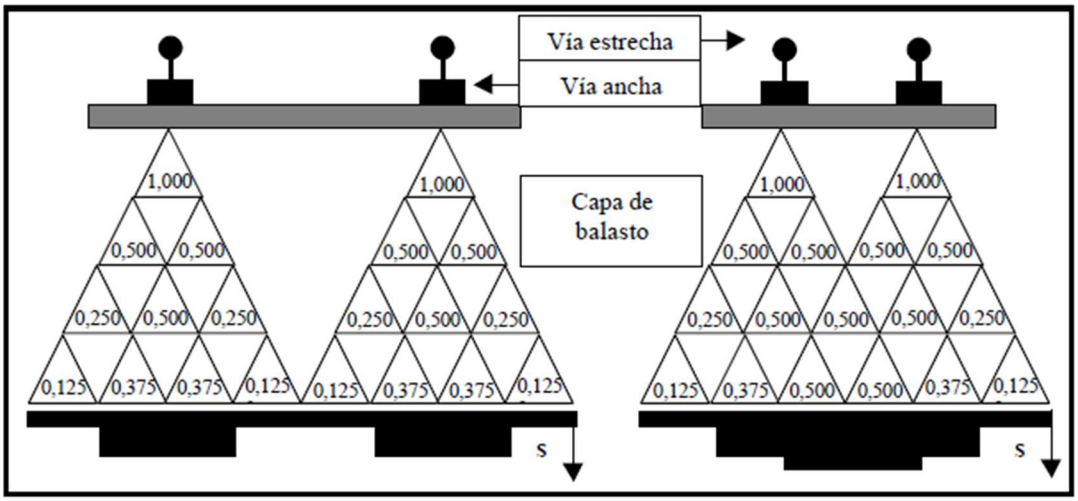
Fuente Estudio ferrocarril del Carere 1980, citado por (Rey, 2002)

Tipo de suelos y relieve del terreno

La finalidad de la capa de balasto que se ubica debajo de las traviesas es repartir las cargas generadas sobre el terreno y absorber las vibraciones por el paso de los trenes (locomotora + vagones). De esta forma las tensiones llegan suficientemente amortiguadas sobre la plataforma y esta no sufre deformaciones excesivas. A misma capacidad portante del terreno, los ferrocarriles de ancho estándar permiten transportar mayor carga sin que el terreno colapse. Por el contrario, a misma carga por eje, la distribución de tensiones se concentra más sobre el terreno con una solución de vía yárdica o estrecha.

Figura 12

Modelo de distribución de tensiones en la capa de balasto



Nota: Distribución de tensiones en la capa de balasto en una vía ancha y en una vía estrecha con una misma carga por eje, Fuente (Ubalde, 2003)

Por lo tanto, la elección de un tipo u otro de ancho de vía viene condicionado por la carga máxima por eje que se quiere transportar, más que por el tipo de suelo por el que discurre la vía.

En caso de terrenos inestables o inundables, tanto para el ancho estándar como para el ancho yárdica, es necesario realizar mejoras en el terreno por el que se discurre para aumentar su capacidad portante y evitar deslizamientos que impidan el paso. En ambos casos las soluciones técnicas a adoptar sobre el terreno son las mismas y no suponen un condicionante sobre el tipo de ancho de vía a elegir.

Por el contrario, el tipo de relieve de terreno que se atraviesa (plano, ondulado o montañoso) limita directamente el trazado (pendiente y radio de curvatura) por lo que según el tipo de ancho de vía elegido se tendrá que construir mayor número de puentes y túneles o incrementar el trazado previsto.

Como se puede observar en la Figura 13, el ancho estándar presenta mayores ventajas para recorridos largos y con alta capacidad de demanda de carga, mientras que la trocha yárdica permite adaptar de una forma más eficiente el trazado a la orografía del terreno, circunstancia que puede ser muy útil para vías secundarias de poco tránsito.

Figura 13

Ventajas e inconvenientes trocha de vía: yárdica versus estándar

Ancho	Ventajas	Inconvenientes
Estandar	Mayor velocidad Mayor capacidad carga Mayor estabilidad Mayores pendientes trenes mercancias Mayor oferta de material rodante y de repuestos Permite la interoperabilidad con otros paises	Mayor radio minimo Menores pendientes para trenes de pasajeros Mayor coste infraestructuras
Yardica	Menor radio minimo Mayores pendientes para trenes de pasajeros Se adapta mejor al terreno accidentado	Menor velocidad Menor capacidad carga Menor estabilidad Menores pendientes trenes mecancias Problemas de interoperabilidad con otros paises Menor oferta de material rodante y de repuestos

Nota: Resumen de las ventajas e inconvenientes del ancho de vía yárdica y estándar

Interconexión

Como visto anteriormente, al inicio del desarrollo del ferrocarril coexisten en la mayoría de los países varios tipos de ancho de vía férrea que poco a poco se van modificando y adaptando hacia un uso mayoritario del ancho estándar de 1,435 mm. Solo en algunos países se mantienen anchos de vía diferentes al ancho estándar o coexisten varios tipos de ancho de vía, donde se realizan trabajos de infraestructura que permiten la interconexión e interoperabilidad de los sistemas ferroviarios del país, con el fin de adaptarse a las cargas que cada día son más pesadas, al material rodante disponible y a uniformar la red ferroviaria nacional o internacional.

Proceso en España

Históricamente el ancho de vía de los ferrocarriles en España son construidos con el denominado ancho ibérico de 1,668 mm. Desde 1988, con la construcción de las nuevas líneas férreas de alta velocidad de pasajeros, se introduce las vías de ancho estándar de 1,435 mm. Para facilitar el tráfico entre ambas redes se desarrollan diversos sistemas de cambio de ancho de vía:

- las traviesas polivalentes, que permite mover uno de los rieles al ancho requerido,
- la vía mixta, que consiste en la instalación de un tercer riel que permite el tránsito de distintos tipos de trenes por la misma vía,
- los trenes de ancho entre ruedas variable con sistema automático de cambio de ancho.

Proceso en Estados Unidos de América

En 1886 se realiza en menos de 48 horas el cambio del ancho de mas de 20.000 km de vía de sur del país reduciendo su vía al ancho estándar. A partir de esa fecha todas las vías nuevas se construyen con el ancho estándar.

Proceso en Reino Unido

Tras un inicio desordenado en cuanto al ancho de vía a usarse (condicionado en cada corredor por el fabricante del material rodante o por el dueño de la vía férrea) en 1846 se estandariza por ley el uso del ancho de 1,435 mm para todas las líneas férreas del país.

Coexistencia de varios anchos de vía

En países como India, Argentina, Rusia o Brasil, coexisten varios tipo de ancho de vía, si bien poco a poco se están construyendo nuevas vías de ancho estándar pero se mantiene la operación independiente de cada sistema.

En la India la red ferroviaria tiene cuatro anchos diferentes: el ancho indio de 1,676 mm, el ancho métrico de 1,000 mm, el ancho estrecho de 762 mm y el ancho mínimo de 610 mm. Desde la década de 1990 se ha iniciado un proceso de conversión progresiva del ancho métrico y el ancho estrecho al ancho indio, con el objetivo de mejorar la capacidad y la velocidad del transporte ferroviario.

Rusia es conocida por tener una red ferroviaria de trocha ancha (1,520 mm), pero se están construyendo nuevas líneas de trocha estándar (1,435 mm) en algunas regiones del país con el fin de permitir una correcta conexión con los países vecinos.

Estrategia

Actualmente se disponen de diversos métodos que permitan la interoperabilidad de los trenes entre los diversos ancho de vías que pueden coexistir en los corredores férreos:

Específicamente para trenes de carga se tiene:

a) Transbordo de mercancías entre trenes mediante grúas,
b) Instalación de un tercer riel en la misma vía que permita el paso de trenes de distinto ancho simultáneamente,
c) Cambiar los ejes del material rodante de forma manual,
d) Utilizar sistemas automáticos de cambio de ancho del propio material rodante.

Transbordo de mercancías entre trenes mediante grúas

Mediante grúas móviles se transborda la carga entre los dos trenes situados paralelamente. Esto supone mayores tiempos de espera en la realización de esta operación.

Figura 14

Transbordo de carga entre trenes



Nota: Fuente ADIF

Instalación de un tercer riel en la misma vía

Consiste en la instalación de un tercer riel (incluso un cuarto) en la vía de forma que los trenes de cualquiera de los dos anchos de vía puedan pasar de una red a otra y circular por ambas indistintamente. Si bien esta solución supone un mayor coste de inversión y de mantenimiento de la vía al tener un carril mayor desgate que los otros dos, suele usarse en corredores férreos en los que es difícil ampliar el número de vías existente por problemas de espacio o predial. Adicionalmente esta solución supone limitar la velocidad en la ciertos tramos de la vía donde se sitúan los cambiadores de vía (García Alvarez, 2010).

Figura 15

Vía de tres carriles



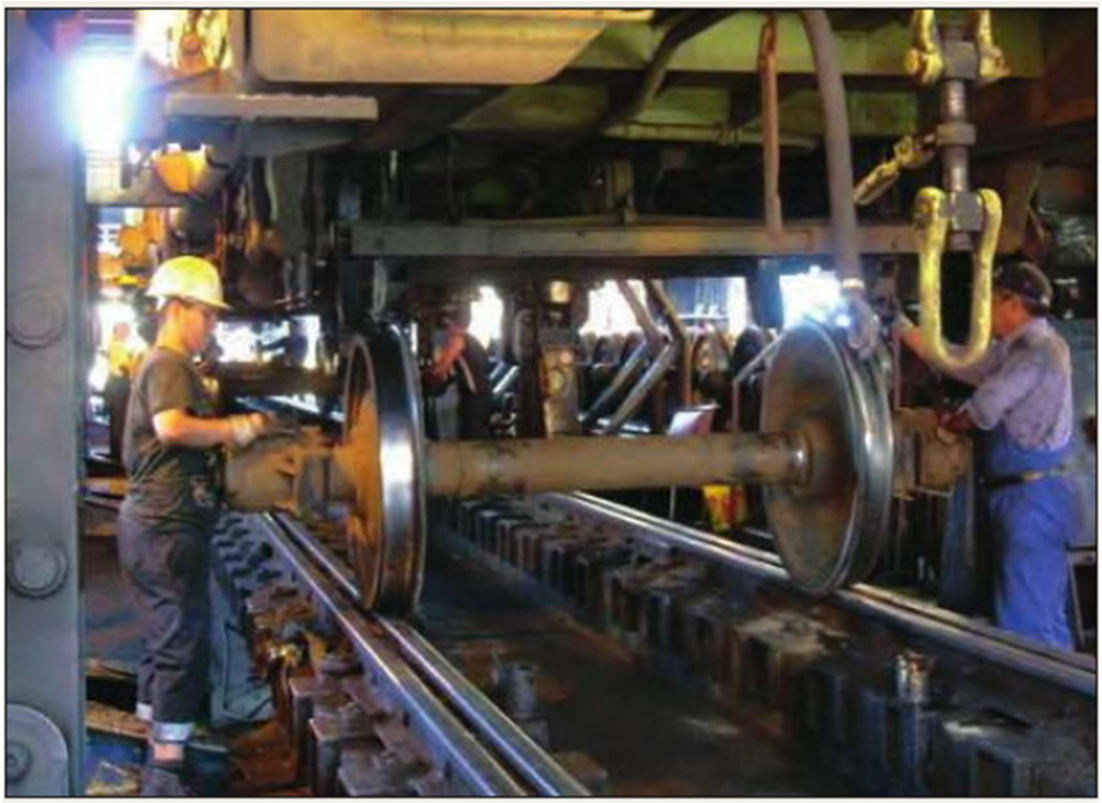
Nota: Vía de tres carriles que permite la circulación de trenes de dos anchos de vía (en este caso, de ancho ibérico 1.668 mm y de ancho estándar, 1.435 mm) Fuente (García Alvarez, 2010)

Cambiar los ejes del material rodante de forma manual

Intercambio de ejes de los vagones o coches que suele aplicarse a vagones de mercancías (García Alvarez, 2010). Esta solución implica la construcción de centros de mantenimiento para realizar este cambio.

Figura 16

Sistema de cambio de ejes para vagones de mercancías



Nota: Sistema de cambio de ejes para vagones de mercancías en Cerbere.

Fuente (López, 2010).

El intercambio completo de bogies (conjunto de dos ejes sobre el que se apoya el vagón) suele utilizarse para trenes de pasajeros.

Sistemas automáticos de cambio de ancho

Los sistemas automáticos de cambio de ancho de vía se encuentran ubicados en instalaciones fijas tipo hangar en medio de la vía, por donde pasan los trenes a baja velocidad.

Figura 17

Cambiador de ancho de vía Talgo-CAF



Nota: Fuente ADIF

En los cambiadores de ancho se modifica el ancho de vía de un vehículo ferroviario de forma automática y circulando este a velocidades reducidas (hasta 15 km/h) sin necesidad de detenerlo. Este sistema da la posibilidad de continuar la marcha del tren sin hacer trasbordos ni cambios de ejes con material rodante parado.

El mecanismo es sencillo: el material rodante debe disponer de la posibilidad de que sus ruedas se desplacen hacia el interior o exterior a través de un eje (durante el transcurso normal del tren este ancho estará fijado a través de cerrojos). El cambiador posee un ancho de vía a cada lado. Se eleva el tren que se desliza a través de unos patines mientras que sus ruedas quedan libres por el descenso de estas y el cerrojo queda liberado. La operación contraria se realiza para su posterior ajuste.

En la actualidad existen varios fabricantes (Talgo, CAF, Angac, Ecasys) que proveen este tipo de cambiadores, si bien están más desarrollados para el material rodante dedicado a pasajeros es posible su utilización en trenes de carga (López, 2010).

Cabe destacar el sistema desarrollado por Adif en España para vagones de mercancías de hasta 25 toneladas/eje (eje OGI) desde el año 2015.

Figura 18

Cambiador de ancho de vía eje OGI





Nota: Fuente ADIF

El coste de instalación de estos cambiadores de ancho de vía varía entre los 4,2 millones de euros para los trenes de viajeros y los 1 millón de euros para los trenes de mercancías.

Beneficios económicos

A continuación se comparan los costes, dentro del ciclo de vida del activo, del uso del ancho de vía yárdica frente al estándar.

Comparativa económica construcción ancho de vía yárdica y estándar

En el estudio de viabilidad realizado por EPYPSA -ARDANUY se analiza a pedido del Ministerio de Transporte, la estimación de costes de construir una nueva red férrea en trocha yárdica y estándar.

Si bien el coste/km de construcción en ancho de vía estándar es más costosa (Figura 18), realizando un análisis multicriterio de alternativas teniendo en cuenta aspectos económicos-financieros, de conectividad, de coste del material rodante y de oferta de transporte, la alternativa de construcción de una nueva red férrea en ancho estándar resulta la solución más viable (Epypsa-Ardanuy, 2013)

Figura 19

Cuadro Resumen de costo por km de tipo de ancho de vía

Tipo de Obra	Costo / km (miles de USD)		
	Plano	Ondulado (medio)	Montañoso (accidentado)
Linea nueva trocha yárdica sencilla	976	2,785	8,163
Linea nueva trocha estándar sencilla	1,125	3,258	9,594
Rehabilitación (yárdica o estándar)	990	1,533	2,594
% Sobrecoste trocha estándar frente a la yárdica	15.3%	17.0%	17.5%

Nota: Costos por kilómetro de construcción según el tipo de terreno y el tipo de vía,

Fuente (Epypsa-Ardanuy, 2013)

Esta ventaja económica también la destaca Luis Ubalde en su análisis de los ferrocarriles de vía métrica en España. El coste de construcción de una línea nueva en ancho estándar llega a ser entre un 6 % (para el caso de vía doble) y un 15% (para el caso de vía única) superior al coste de una línea semejante en ancho métrico. La principal razón se halla en las diferencias en el ancho de plataforma: para una sección estándar de vía doble, este ancho es de 12.30 m, si es de ancho métrico; 13.80 m, si es de ancho internacional. En el caso de una sección estándar de vía única, este ancho es de 8.06 m, si es de ancho métrico; 9.07 m, si es de ancho internacional (Ubalde, Ferrocarriles de vía métrica, 2002).

Figura 20

Incrementos en el coste de una nueva línea de ancho estándar respecto a una línea de ancho métrico.

Distribucion del tipo de sección			Incremento en el coste respecto a una línea de ancho métrico, via doble	Incremento en el coste respecto a una línea de vía unica	Incremento en el coste respecto a una línea de ancho métrico, via unica
Vía a cielo abierto	Vía en túnel	Vía en puente			
100%	0%	0%	5%	37%	14%
95%	4%	1%	5%	38%	13%
90%	8%	2%	5%	39%	13%
85%	13%	2%	6%	40%	15%

Nota: % de Incremento en el coste de una línea de ancho estándar respecto a una línea de ancho métrico para vía doble y única, Fuente (Ubalde, Ferrocarriles de vía métrica, 2002)

Comparativa económica mantenimiento ancho de vía yárdica y estándar

Los costes de mantenimiento en la vía de estas alternativas se consideran similares dada la poca diferencia que se encuentra en el trazado geométrico que se tiene y el alcance de los trabajos a ejecutarse.

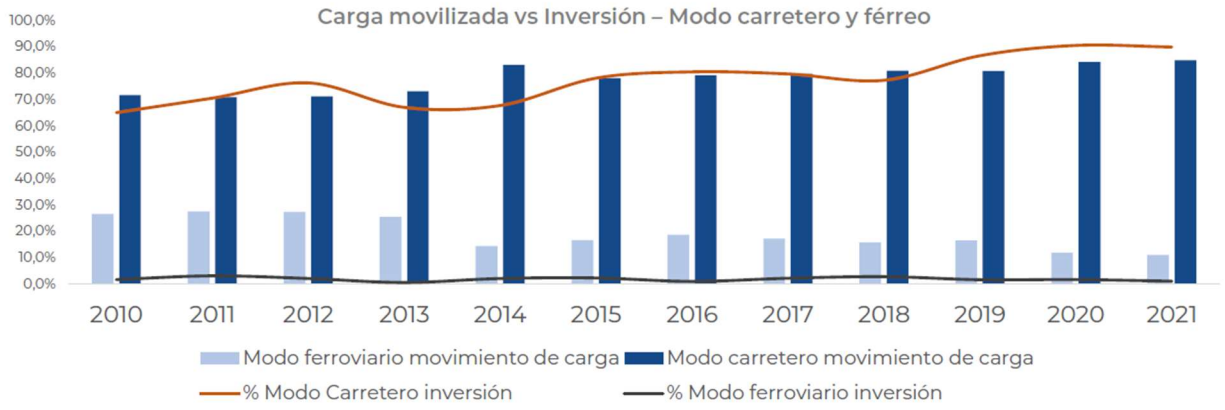
La principal diferencia se encuentra en los costes de repuestos del material rodante, que en el caso de la vía de ancho yárdica son mas caros al no ser el estándar usual en el mercado.

Coste transporte carga por vía férrea en Colombia

La inversión pública en el sector ferroviario no supera el 1.8% del total de los recursos presupuestales anuales frente al 77% que se alcanza en el sector carreterero (Ministerio de Transporte, 2020).

Figura 21

Carga movilizada versus inversión

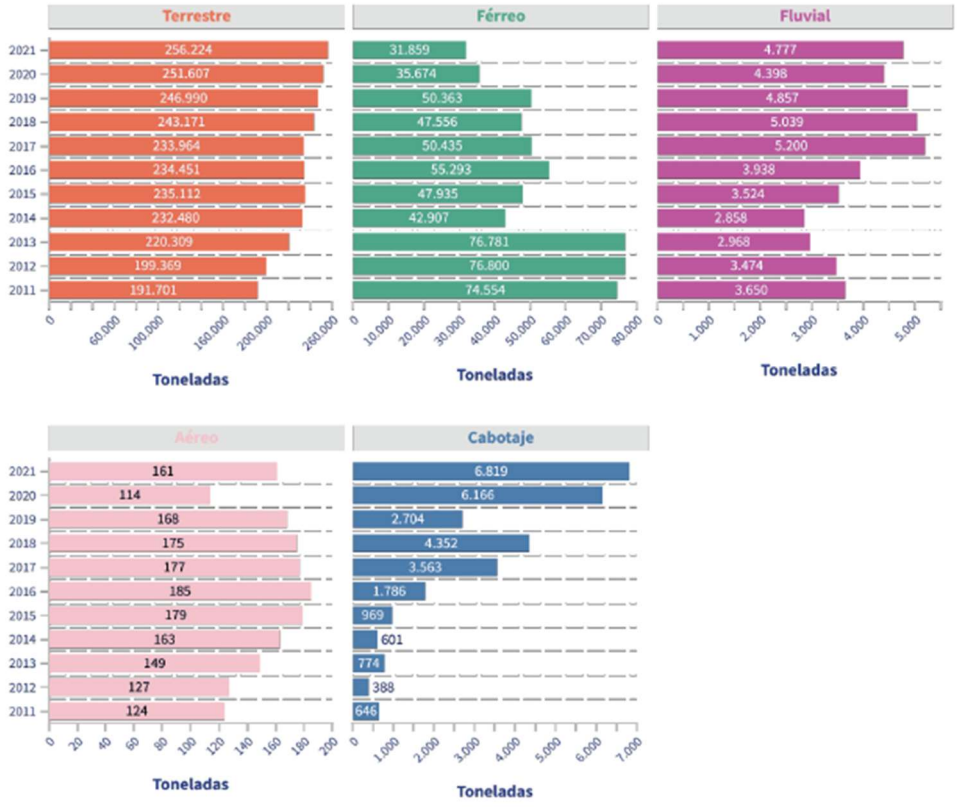


Nota: Carga movilizada versus inversión- Modo carretero y férreo en Colombia, Fuente ANI 2023

Esto se refleja en la escasa participación que tiene en transporte férreo en la matriz nacional. En el año 2021, se movilizaron en total 299.84 millones de toneladas en carga, de la que sólo 31,8 millones de toneladas (apenas el 10,6%) corresponden al modo férreo (centrado en los tres corredores férreos de Bogotá-Belencito; La Dorada-Chiriguaná; Chiriguaná-Santa Marta) (Ministerio de Transporte, 2022).

Figura 22

Reparto de transporte de carga por modo de transporte



Nota: Matriz de reparto de transporte de carga por modo de transporte en miles de toneladas.

Fuente: (Ministerio de Transporte, 2022).

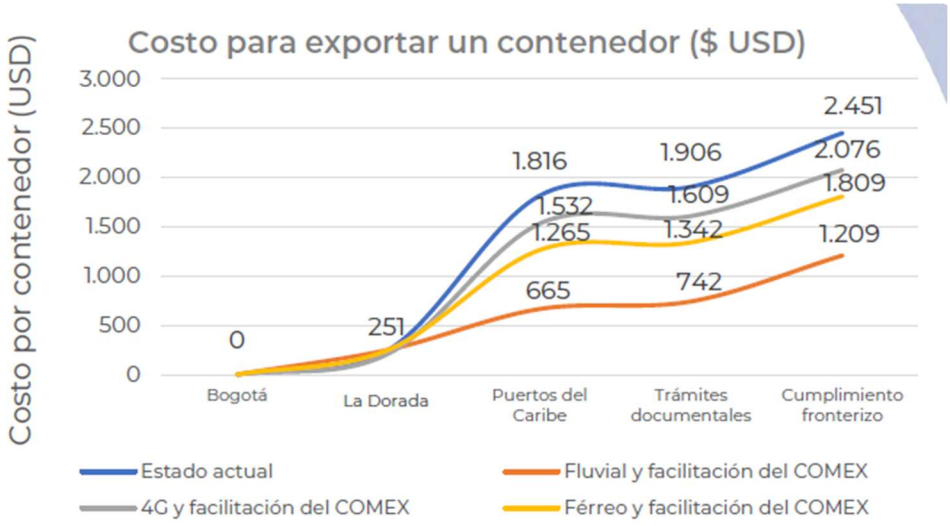
Actualmente el modo férreo se usa básicamente para el carbón que acaba siendo una carga cautiva con infraestructura especializada y transportada hacia los puertos marítimos del norte de Colombia para exportación.

Si se quiere potenciar el uso del modo férreo en Colombia para carga suelta o en contenedores, es necesario abaratar drásticamente el coste de flete desde las principales ciudades del interior a los puertos marítimos. De acuerdo a la ANI, el coste de transporte de un contenedor desde Bogotá hasta los puertos del Caribe es de más de 2,450 USD por

contenedor, valores que se podría reducir un 26.2% con el uso del corredor férreo entre Bogotá y el puerto.

Figura 23

Costo para exportar un contenedor desde Bogotá (USD)



Escenario	Variación
Fluvial - Medidas de facilitación del comercio	**-50,7 %**
Férreo - Medidas de facilitación del comercio	**-26,2 %**
4G - Medidas de facilitación del comercio	**-15,3 %**

Nota: fuente ANI 2023

Adicionalmente, de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Encuesta Nacional Logistica (ENL) del 2018 al 2020, el promedio del costo logístico de las empresas del país, como porcentaje de las ventas, se ubica en 12,6 %, representado principalmente por los costos de transporte. Por tanto cualquier mejora en los coste de transporte hasta puerto de exportación supone una mejora en la competitividad de las empresas colombianas, especialmente para la zona de Bogota responsable del 30% del PIB del Colombia.

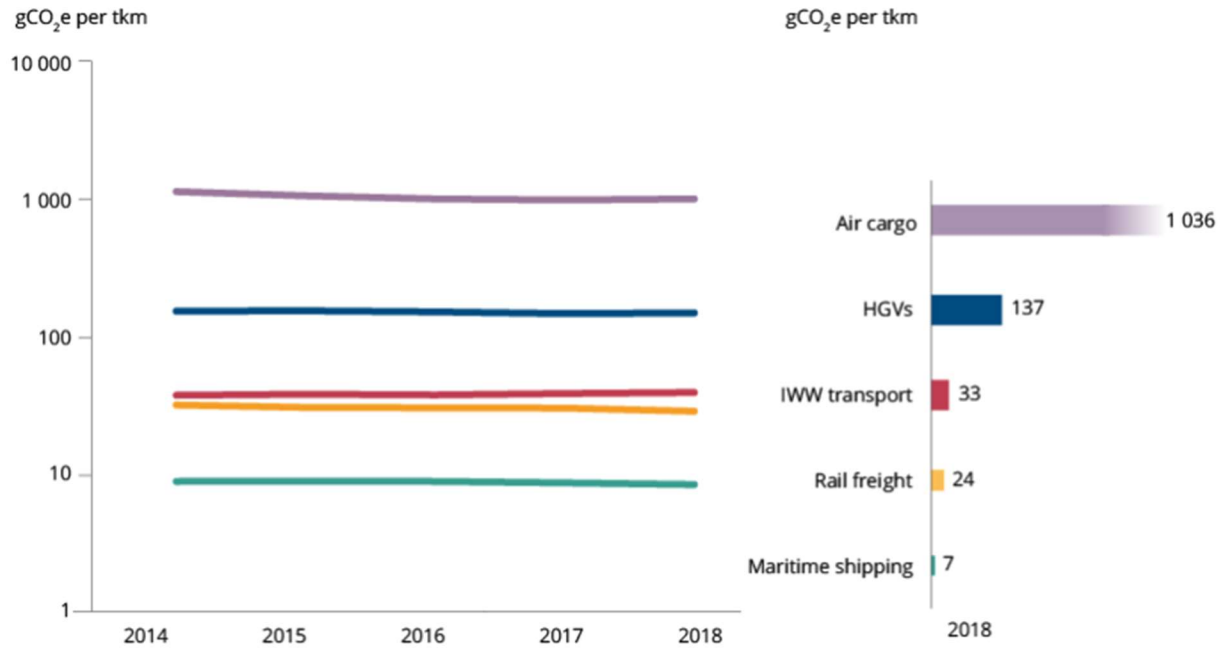
Impactos ambientales del cambio de medio de transporte

Los ferrocarriles son el medio de transporte terrestre más eficientes en términos de bajas emisiones de CO2 y de energía por unidad de tráfico tanto para carga como para pasajeros. Por tanto, presentan un papel decisivo para la consecución de los objetos globales de lucha contra el cambio climático.

En el estudio realizado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (European Environment Agency, 2021) se muestra una jerarquía clara entre los modos de transporte de pasajeros y mercancías, en términos de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Figura 24

Media de emisiones CO2 de diferentes formas de transporte



Nota: Media de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de distintos medios de transporte de carga en la Unión Europea entre 2014 y 2018 por tonelada kilómetro. Fuente: (European Environment Agency, 2021)

Tanto el transporte por ferrocarril (Rail freight), el marítimo (Maritime shipping) como el fluvial (Inland waterway, IWW) son las opciones que hacen un uso menos intensivo del carbono en el transporte de carga. Como puede verse en la figura precedente, los medios de transporte marítimo y ferroviario son los que tienen las emisiones más bajas comparada especialmente con las emisiones del transporte por carretera (vehículos de carga pesada: heavy goods vehicle, HGV). Ante un escenario de aumento progresivo del transporte de carga en Colombia con el crecimiento económico del país, es básico el incentivar el transporte de carga por tren y por vías navegables (mar y ríos) para reducir las emisiones de CO2.

Figura 25

Emisiones CO2 para Colombia en 2021 carretera y ferrocarril

Emisiones CO2 por tipo de transporte	**gCO2/tkm**		
Vehiculos carga pesada, Carretera	137		
Ferrocarril	24	18%	Sobre valor de Carretera
		82%	Reduccion de emisioes

1000	km
256.22	millones toneladas
256,224.00	Mtkm
Emisiones sector transporte carretera 2021	
35.10	MtCO2
Emisiones 50% sector transporte carretera 2021	
17.55	MtCO2
Emisiones del ferrocarril para 50% carga carretera	
128.112	millones toneladas
3.07	MtCO2
Reduccion emisiones	
14.48	MtCO2

Nota: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de distintos medios de transporte de carga en la Colombia para un recorrido medio de 1.000 km kilómetros en el 2021

Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones de esta monografía.

¿Cuáles son las razones técnicas detrás de la elección del ancho de vía en los ferrocarriles?

Como se indica en el apartado ***Historia del ancho de vía***, inicialmente la elección del ancho de vía se realiza por motivos puramente económicos cortoplacistas para poder enfrentar la inversión de la infraestructura en un plazo y precio acordes a los medios de la época.

Actualmente, si bien para redes ferroviarias secundarias de poco transito es posible seguir usando una trocha angosta o yárdica, las actuales características solicitadas a las vías de viajeros y mercancías (mayor velocidad y capacidad de carga) hacen necesario usar un ancho de vía que permita circular los trenes con seguridad y mayor número de vagones.

Las ventajas destacadas del ancho estándar en el apartado ***Anchos de vía*** para largos recorridos y alta capacidad junto con las actuales mejores técnicas constructivas de túneles y puentes ferroviarios, hacen que actualmente la elección de este ancho, el entandar, sea el más extendido en todo el mundo y el que permite la interoperabilidad de los sistemas férreo entre países.

¿Cómo afecta el tipo de ancho de vía a la velocidad y la eficiencia del transporte ferroviario?

Si bien las vías ferroviarias con trocha yárdica se adaptan mejor a terrenos escarpados o montañosos por tener menor radio mínimo de curvas y menor gálibo necesario para las estructuras (túneles y puentes), el tener precisamente este menor radio de curvatura implica que la velocidad de los trenes es menor y aumenta la sensación de balanceo por lo que el

confort también es menor. Adicionalmente, al ser la distancia entre rieles menor, a igual peso del tren (locomotora y vagones) se transmite mayor tensión al terreno por lo que la carga máxima por eje en las vías de trocha yárdica es menor a la carga máxima por eje de las vías de ancho estándar(33% menor de lo que se transporta por trocha estándar), como se detalla en el apartado ***Anchos de vía***.

El ancho estándar presenta mayores ventajas para recorridos largos y con alta capacidad de demanda de carga, mientras que la trocha yárdica permite adaptar de una forma más eficiente el trazado a la orografía del terreno, circunstancia que puede ser muy útil para vías secundarias de poco tránsito.

¿Cómo afecta la elección el ancho de vía al ciclo de vida del corredor férreo (diseño, construcción, operación y mantenimiento)?

Como se indica en el apartado ***Ancho de vía en Colombia***, la elección inicial del ancho de vía en Colombia por trocha yárdica supone hipotecar la construcción, operación y mantenimiento del sistema ferroviario a un tipo de solución que es poco usado en el resto de países o solo usado en recorridos secundarios de poco tránsito.

El transporte por ferrocarril está restringido físicamente al ancho de la vía por el que circula el material rodante (locomotora y vagones) sin posibilidad de salirse del recorrido como en el transporte de carreteras, más versátil en este sentido.

Definido un ancho de vía en la etapa de diseño, se define un parámetro esencial tanto para la ejecución de la infraestructura como para la construcción del material rodante, por lo que la operación y mantenimiento del corredor férreo queda también definido por este parámetro, en especial por el tipo de repuestos a ser usados en el material rodante. Por tanto,

en función del tipo de servicio que se quiera cubrir (alta demanda y posibilidad de crecimiento o vías secundarias de baja capacidad en terrenos escabrosos) se debe elegir el tipo de ancho de vía adecuado.

Si bien no es la solución óptima, es posible que coexistan varios corredores férreos con diferentes ancho de vía, lo cual obliga utilizar soluciones técnicas que permitan la interoperabilidad entre los sistemas como se detalla en el apartado ***Estrategia*** (transbordo de mercancía, tercer riel, cambio de ejes, sistema automático de cambio de ancho en los trenes).

Mas difícil es hacer como en los Estados Unidos, un cambio completo del ancho de vía en un corto periodo de tiempo por la logística que supone actualmente.

¿Cuáles son los costos y beneficios económicos del tipo de ancho de vía en ferrocarriles?

Si bien el coste de construcción de una vía férrea en ancho estándar es entre un 6% al 17.5% superior a la de una vía férrea de trocha yárdica como se compara en el apartado ***Beneficios económicos***, la mayor capacidad de carga por eje (50% superior a la de trocha yárdica) y la mayor velocidad de transporte (del 15% al 18% superior) hace más ventajoso el uso de ancho estándar en los corredores férreos al poder transportar mayor carga en menor tiempo en largos recorridos.

A esto se suma la mayor oferta de equipos de material rodante que se dispone a nivel internacional para ancho estándar (60% del mercado internacional y prácticamente el 100% del mercado de Estados Unidos, China y Europa). La particularidad y poca extensión de la trocha yárdica hace necesario pedir fabricaciones especiales lo que supone un encarecimiento de los equipos, un mayor plazo de fabricación y falta de repuestos en el mercado

¿Cuáles son los impactos ambientales del incremento del uso del transporte ferroviario?

Al incrementar el uso del transporte ferroviario se reducen drásticamente las emisiones en el medio. Como indicado en el apartado ***Impactos ambientales del cambio de medio de transporte***, se consigue reducir de 137 gCO2/tkm del transporte por carretera a 24 gCO2/tkm del transporte por ferrocarril (reducción del 82% en las emisiones).

Si se consigue desplazar el 50% de las 256,22 millones de toneladas en carga del transporte por carretera al transporte por ferrocarril del 2021, se obtendría una reducción de 14,48 Megatoneladas de CO2 en un año para un trayecto medio de 1.000 km (distancia entre Bogota y Cartagena). Dado que el año 2021 las emisiones de CO2 en Colombia fueron de 77,57 megatoneladas (European Commission, 2022), solo con el uso de transporte ferroviario se consigue reducir un 19% todas las emisiones de CO2 en Colombia.

Aunque la ejecución de nuevas infraestructuras ferroviarias supone la alteración del paisaje y entorno, su impacto es menor a los de construcción de una nueva carretera.

¿Qué hacer con los corredores ferroviarios existentes en Colombia?

La mejor solución es realizar un cambio progresivo de los actuales corredores de ancho de vía yárdica por nuevos corredores de ancho estándar como se ha realizado en otros países como está descrito en el apartado ***Interconexión***, y paralelamente construir todos los nuevos corredores ferroviarios en ancho estándar.

Con el fin de mantener la operabilidad de todo el sistema ferroviario pueden usarse las soluciones técnicas descritas en el apartado de ***Estrategia*** (transbordo de mercancía, tercer

riel, cambio de ejes, sistema automático de cambio de ancho en los trenes) para permitir que los trenes que circulan actualmente por la red férrea de ancho de vía yárdica puedan circular también por un tiempo por los nuevos corredores hasta que en toda la red del país se unifique al ancho estándar, y de esta forma permitir la interoperabilidad en todo momento.

El cambio de ancho de vía puede afectar negativamente a la velocidad y eficiencia del transporte ferroviario, ya que requiere que los trenes se detengan y cambien su ancho de vía antes de continuar. Sin embargo, si se realiza correctamente, el cambio de ancho de vía permite que los trenes lleguen a su destino final sin tener que transferir la carga a otro tren, lo que puede ser más costoso y llevar más tiempo.

Los costos en la ejecución de una nueva infraestructura, cambio de ancho de vía a estándar, son significativos pero los beneficios económicos a largo plazo son considerables ya que el cambio de ancho de vía permite la interconexión de diferentes redes ferroviarias de otros países y mayor capacidad de transporte, lo que aumenta la eficiencia y reduce los costos de transporte (mayor competitividad).

¿Cuál es la mejor solución para el ancho de vía a ser usado en Colombia para los nuevos corredores ferroviarios?

A raíz de lo visto en los apartados anteriores, queda claro la necesidad de aumentar la actual inversión pública en el sector ferroviario (1.8%) a unos valores acordes al volumen que se transporta (10.6%) y de esta forma poder reducir el coste de exportación en todos los corredores y en especial en el corredor Bogotá – Puertos del Caribe donde la reducción llega a ser del 26.2%, y de esta forma aumentar la competitividad de todos los sectores industriales tanto en exportación como importación.

Este incremento en la inversión tiene que venir acompañado de la construcción de nuevas vías férreas en ancho estándar que permitan el transporte de mayor carga y la reducción del tiempo medio de transporte hasta puerto.

Es básico generar las condiciones para el desarrollo de un sistema de transporte eficiente, competitivo y de bajas emisiones. Por tanto es necesario modernizar las prestación de los servicios de transporte y estandarizarlos a lo que se usa actualmente en la mayoría del mercado ferroviario mundial, que usa mayoritariamente el ancho estándar en más del 60% de su extensión mundial.

Se debe garantizar la interoperabilidad de los corredores férreos existentes por lo que es necesario realizar un cambio progresivo del actual ancho de vía yárdica hacia un ancho estándar y aprovechar ,en caso necesario, las tecnologías existentes que permiten la interoperabilidad de los corredores de distinto ancho de vía.

Por último es necesario definir claramente las condiciones técnicas y legales con las que desarrollar, construir, operar y mantener los corredores férreos unificando criterios siguiendo también los estándares internacionales vigentes.

Referencias

Alvear, J. -S. (2008). *Historia del Transporte y la Infraestructura en Colombia 1492 - 2007* (Primera edición: Diciembre de 2008 ed.). Bogota, Colombia: Ministerio de Transporte. : https://web.mintransporte.gov.co/jspui/bitstream/001/10409/1/Historia%20del%20transporte%20y%20la%20infraestructura%20en%20Colombia_compressed.pdf

Arias, J. -D. (2017). *Ferrocarriles en Colombia 1836-1930.* Bogotá, Cundinamarca, Colombia: BANREP CULTURAL - Biblioteca Vistual. Retrieved 08 de 04 de 2023, from https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-257/ferrocarriles-en-colombia-1836-1930

Epypsa-Ardanuy. (2013). *Estudio de viabilidad y conveniencia del cambio de trocha yárdica a trocha estándar y sus impactos en el transporte de carga y pasajeros.* Ministerio de Transporte, Bogota. https://mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=10560

Escobar Muriel, O. (27 de Abril de 2021). *Una mira a la historia de los ferrocarriles en Colombia.* https://www.uniandinos.org.co/enterate/historia-de-los-ferrocarriles-en-colombia-uniandinos

Escobar Muriel, O. (2022). *Los rieles de una ilusión.* Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

European Commission, J. r. (2022). *CO2 emissions of all world countries.* (P. O. Union, Ed.) Luxemburgo. https://doi.org/10.2760/07904

European Environment Agency. (2021). *Rail and waterborne — best for low-carbon motorised transport.* Briefing no. 01/2021, Luxemburgo. https://doi.org/10.2800/85117

García Alvarez, Á. (2010). *Cambio automático de ancho de vía de los trenes en España.* (C. Técnica, Ed.) Madrid, España: Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Retrieved 05 de 04 de 2023, from https://www.vialibre-ffe.com/pdf/Cambio_ancho_de_v%C3%ADa.pdf

García Álvarez, A. (2021). *Manual de Ferrocarriles, El sistema ferroviario Español.* Garceta Grupo Editorial.

Geotren, L. d. (2022). *Geotren.es.* https://www.geotren.es/blog/los-distintos-anchos-de-via-en-espana-y-en-el-mundo/

González Velayos, J. I. (2011). *Ancho de vía en ferrocarriles: Tecnología y Equipamiento.* Colección Temas Ferroviarios.

Infraestructura, C. C. (2013). *Seguimiento a proyectos de infraestructura, Informe dirección técnica, Sistema férreo nacional.* https://infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/Seguimientoproyectos/fluvial_rio_magdalena.pdf

López, A. (2010). *Infraestructuras ferroviarias* (2 ed.). Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. Retrieved 08 de 09 de 2023, from http://hdl.handle.net/2099.3/36850

Macias i Arau, P. (2013). *Vía ancha, mente estrecha crónica de 150 Años de aislamiento ferroviario (1848-1998).* Fundación ESTEYCO.

Martín Fernández, E. (2019). *Transporte multimodal en Latinoamérica. Pasado, presente y futuro.* Transporte multimodal en Latinoamérica. Pasado, presente y futuro. https://tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/TransporteMultimodal_Latinoamerica.pdf

Ministerio de Obras Publicas. (1920). *Ley 76 de 1920 sobre Policía de Ferrocarriles.* Ministerio de Obras Publicas, Bogota, Bogota. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/ley_76_de_1920.pdf

Ministerio de Transporte. (2011). *Plan Maestro de Transporte Intermodal.* Ministerio de Transporte, Bogota. Retrieved 2023, from https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u233/pmti_entregable_1_final_nov11.pdf

Ministerio de Transporte. (2013). *Manual de normatividad férrea, Definición de aspectos técnicos de diseño, construcción, operación, control y seguridad.* Bogota, Colombia.

Ministerio de Transporte. (2020). *Plan Maestro Ferroviario.* Ministerio de Trasnporte. Bogota: Ministerio de Trasnporte. Retrieved 2023, from https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Plan-Maestro-Ferroviario.pdf

Ministerio de Transporte. (2022). *Transporte en Cifras 2021, Anuario Nacional de Transporte.* Ministerio de Transporte. Bogota: Ministerio de Transporte. www.mintransporte.gov.co

Ministerio de Transporte. (2023). *Proyecto Ley 337 de 2023 sobre Infraestructura Ferroviaria.* https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2023-02/P.L.337-2023C%20%28INFRAESTRUCTURA%20FERROVIARIA%29_0.pdf

Morales Arroyo, F. J. (2010). *Ancho de vía en ferrocarriles: Normativa y Reglamentación.* Temas Ferroviarios.

Moreno Fernandez, J. (1996). *El ancho de la vía en los ferrocarriles españoles, "De Espartero a Alfonso XII.* ESPAÑA: Toral Technical Trade.

Moreno Fernandez, J. (2018). *Prehistoria del Ferrocarril* (Reedicion diciembre 2018 ed.). España: Fundacion de los Ferrocarriles Españoles. Retrieved 15 de 04 de 2023, from https://tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/PrehistoriaFerrocarril.pdf

Puffert, D. (Diciembre de 2000). The Standardization of Track Gauge on North American Railways, 1830-1890. (M. 0. Eric Hilt Department of Economics|Wellesley College|106 Central St|Wellesley, Ed.) *The Journal of Economic History, 60*(4), 28. https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0022050700026322

Puffert, D. (2009). *Tracks across Continents, Paths through History, The Economic Dynamics of Standardization in Railway Gauge.* USA: University of Chicago Press. https://doi.org/10.1017/S0022050710000239

Rey, F. (Julio de 2002). Comparaciones técnicas entre los anchos de trocha ferroviaria yarda y estandar a propósito del. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(12), 15. https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.1346

Ubalde, L. (2002). *Ferrocarriles de vía métrica, Posibilidades y Limitaciones.* Barcelona: Ediciones UPC. Retrieved 09 de 2023.

Ubalde, L. (2003). Condicionantes Legales y Técnicos del Ferrocarril de Vía Estrecha a lo largo de su historia en España. *III Congreso de Historia Ferroviaria: Siglo y medio de ferrocarril en Asturias. Segunda Sesión. Ferrocarriles de vía estrecha en España; entre la complementariedad y el aislamiento*, pág. 18. Gijon: Fundación de los Ferrocarriles Españoles. https://www.docutren.com/historiaferroviaria/Gijon2003/pdf/sc5.pdf

Villaescusa y Fernando, L. (2013). *Ancho de vía en ferrocarriles: Características y comparación internacional.* Fundación de los Ferrocarriles Españoles.