POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel.: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es

Raúl Calvo Casas

05 TRABAJO FIN DE MASTER

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MASTER

ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO DEL TRANSPORTE FERROVIARIO DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA

TRABAJO FIN DE MASTER
PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE **MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ENERO **2024**

Raúl Calvo Casas

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MASTER:

Juan de Dios Sanz Bobi
Jeanne-Marie Dalbavie

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Máster en Ingeniería Industrial
Especialidad Ingeniería Mecánica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO DEL TRANSPORTE FERROVIARIO DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA

Autor
Raúl Calvo Casas

Tutores
Juan de Dios Sanz Bobi
Jeanne-Marie Dalbavie

Diciembre 2023

"No se puede improvisar sin antes haber aprendido las reglas"

Johann Sebastian Bach

Agradecimientos

En primer lugar, a mi familia.

También me gustaría expresar mi gratitud a mis tutores Juan de Dios Sanz Bobi y Jeanne-Marie Dalbavie, así como a mi supervisor, Benoît Volant, por haberme ayudado y guiado a lo largo del proyecto.

A todas las partes interesadas que aceptaron colaborar a través de entrevistas, por ayudarnos a profundizar en los desafíos del transporte ferroviario de mercancías desde distintas perspectivas.

A mis amigos y compañeros de piso, con quienes compartí esta etapa en un país extranjero fuera de nuestra zona de confort.

Por último, a mis compañeros que hicieron de esta etapa una experiencia más enriquecedora y entretenida

Resumen

Actualmente, el cambio climático se posiciona como una de las mayores preocupaciones del ser humano. Este fenómeno, consecuencia en gran medida de la actividad humana, y especialmente de la quema de combustibles fósiles, representa una amenaza para la biodiversidad y la sostenibilidad del planeta en su conjunto.

En este contexto, el transporte se posiciona como uno de los principales contribuyentes. La evolución histórica hacia una dependencia prácticamente exclusiva de los combustibles fósiles, hace que el sector continúe contribuyendo ininterrumpidamente al calentamiento global y al cambio climático.

Dentro del sector del transporte se encuentran distintos modos, presentando cada uno de ellos distintas ventajas e inconvenientes específicas. En términos de impacto medioambiental, el ferrocarril destaca como una pieza clave para avanzar hacia una descarbonización del transporte, debido a su menor impacto con respecto a otros modos. Sin embargo, actualmente, en España, el ferrocarril representa una cuota modal prácticamente testimonial en el transporte de mercancías, siendo la carretera el principal actor.

Debido a lo anterior, a lo largo de este documento se realiza un análisis de la estrategia de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías en España. Dicho análisis tiene por objetivo evaluar la pertinencia y coherencia de las medidas propuestas con el fin de que el ferrocarril sea capaz de ganar en atractivo y competitividad, y poder así avanzar así hacia un transporte más sostenible.

El análisis realizado incluye la identificación de competencias, necesidades e influencias entre partes interesadas, el estudio de las estrategias de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías la Unión Europea y de otros países miembros, el análisis de la actividad ferroviaria y el estudio de la red de los países anteriores, y, finalmente, un caso de estudio capaz de cuantificar los beneficios medioambientales del ferrocarril frente a la carretera.

En última instancia, se realiza un ejercicio de síntesis e interpretación de los resultados, evaluando la pertinencia de cada medida a través de una matriz de indicadores y permitiendo así la extracción de las conclusiones del estudio.

Abstract

Currently, climate change stands as one of the greatest concerns for humanity. This phenomenon, largely caused by human activity, especially the burning of fossil fuels, poses a threat to biodiversity and the overall sustainability of the planet.

In this context, transportation emerges as one of the main contributors. The historical evolution of the sector towards a virtually exclusive dependence on fossil fuels continues to contribute uninterrupted to global warming and climate change.

Within the transportation sector, there are different modes, each presenting specific advantages and disadvantages. In terms of environmental impact, the railway stands out as a key element in moving towards decarbonizing transportation due to its lower impact compared to other modes. However, currently, in Spain, the railway represents a virtually negligible modal share in freight transportation, with the road being the primary player.

Due to the aforementioned issues, this document conducts an analysis of the development strategy for freight rail transport in Spain. The objective of this analysis is to evaluate the relevance and coherence of the proposed measures so that the railway can become more attractive and competitive, thus progressing towards a more sustainable transportation system.

The conducted analysis includes the identification of competencies, needs, and influences among stakeholders, the study of development strategies for freight rail transport in the European Union and other member countries, the analysis of railway activity and the study of the network in these countries and, finally, a case study is conducted to quantify the environmental benefits of the railway compared to the road.

Ultimately, a synthesis and interpretation of the results are carried out, assessing the relevance of each measure through an indicator matrix, thus allowing for the extraction of conclusions from the study.

Palabras clave

Ferrocarril, Transporte, Mercancías, Estrategia, Desarrollo, Material Rodante, Tren, Locomotora, Vagón, Multimodal, Intermodal, Infraestructura, Contaminación, Medio Ambiente, Viabilidad, Impacto, España, Europa.

Códigos UNESCO

110501 Método Científico

120326 Simulación

120704 Distribución y Transporte

120713 Planificación

330528 Regulaciones, Códigos y Especificaciones

330602 Aplicaciones Eléctricas

330801 Control De La Contaminación Atmosférica

331313 Motores De Combustión Interna (General)

332300 Tecnología De Los Ferrocarriles

332301 Locomotoras

332302 Equipo Ferroviario

332303 Servicio de Ferrocarril

332305 Material Rodante

332907 Transporte

530403 Comercio Interior

530404 Comercio Exterior

530602 Innovación Tecnológica

531103 Estudios Industriales

531106 Estudio de Mercado

531205 Energía

531212 Transportes Y Comunicaciones

Índice

1. Introducción 1
2. Objetivos 4
3. Metodología 5
3.1. Transporte de mercancías en España 5
3.1.1. Reparto modal 5
3.1.2. Carretera 6
3.1.3. Ferroviario 8
3.1.4. Aéreo 9
3.1.5. Marítimo 10
3.1.6. Multimodalidad e intermodalidad 11
3.2. Partes interesadas 13
3.2.1. Autoridades 13
3.2.1.1. Unión Europea 14
3.2.1.2. Estado 14
3.2.1.3. Regiones 14
3.2.1.4. Reguladores del mercado 14
3.2.2. Administradores de la infraestructura 15
3.2.2.1. Red nacional 15
3.2.2.2. Red privada 15
3.2.3. Operadores ferroviarios 15
3.2.3.1. Generalistas (OF) 15
3.2.3.2. Proximidad (OFP) 16
3.2.4. Cargadores 16
3.2.5. Industriales 16
3.2.5.1. Material rodante 17
3.2.5.2. Construcción 17
3.2.5.3. Proveedores de energía 17
3.3. Estrategias y objetivos 18

3.3.1. Unión Europea 18
3.3.2. Alemania 19
3.3.3. Polonia 20
3.3.4. Francia 22
3.3.5. España 24
3.4. Actividad ferroviaria 27
3.4.1. Alemania 29
3.4.2. Polonia 30
3.4.3. Francia 31
3.4.4. España 33
3.5. Estudio de la red 35
3.5.1. Acceso a la infraestructura 36
3.5.2. Características 37
3.5.2.1. Alemania 37
3.5.2.2. Polonia 39
3.5.2.3. Francia 40
3.5.2.4. España 41
3.6. Impacto medioambiental 44
3.6.1. Metodología de cálculo 44
3.6.2. Caso de estudio 48
3.6.2.1. Itinerario 48
3.6.2.2. Carga 49
3.6.2.3. Material rodante 49
3.6.3. Análisis de sensibilidad 51
4. Resultados 52
4.1. Transporte de mercancías en España 52
4.2. Partes interesadas 54
4.3. Factores de influencia 56
4.3.1. Factores internos 56
4.3.2. Factores externos 58

4.4. Estrategias y desarrollo 61
4.5. Actividad ferroviaria 63
4.6. Infraestructura 64
4.7. Matriz de indicadores 66
4.8. Impacto medioambiental 70
5. Conclusiones 73
6. Líneas futuras 75
7. Referencias 76
8. Planificación temporal 81
9. Presupuesto 83
10. Valoración de impacto y responsabilidad 85
11. Índice de figuras 87
12. Índice de tablas 89
13. Abreviaturas y acrónimos 90
14. Anexo – Cartografía 92

1. Introducción

El mundo se enfrenta a un desafío sin precedentes: el cambio climático. La actividad humana, y en particular la quema de combustibles fósiles es responsable del aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Estas emisiones impiden la reflexión normal de la radiación solar que llega a la Tierra, contribuyendo a la alteración del equilibrio térmico de la Tierra y aumentando así la temperatura a escala mundial.

El cambio climático ya ha comenzado a mostrar sus consecuencias. Cada vez se observan olas de calor más intensas, periodos de sequías prolongadas y otros eventos meteorológicos extremos en general. Estos eventos tienen un impacto directo en la biodiversidad y la economía, por lo que es muy urgente reducir las emisiones de GEI para limitar estos efectos catastróficos del cambio climático.

Los combustibles fósiles son las principales fuentes de emisión de GEI. En particular, el dióxido de carbono (CO_2) emitido durante la combustión de combustibles fósiles, es el principal GEI generado como resultado de la actividad humana [1].

Para reducir el consumo de combustibles fósiles, se pueden adoptar alternativas menos contaminantes, como las energías renovables, que emiten muchos menos GEI. Además, la búsqueda de la eficiencia energética, el transporte limpio y el cambio en nuestros hábitos hacia la sobriedad energética también ayudan a reducir las emisiones de GEI.

El sector del transporte juega un papel muy importante en las emisiones de GEI. En España, el sector del transporte representó el 29,6% de las emisiones totales de CO_2 equivalente (CO_2 eq.) durante el año 2019 (el último año "normal" antes de la crisis del COVID-19), de las cuales el 92,6% de las emisiones provinieron del transporte por carretera [2].

El ferrocarril es un tipo de transporte terrestre guiado sobre dos raíles paralelos de acero, generalmente, que conforman la vía férrea. A lo largo de la vía circulan vehículos ferroviarios (conjunto de vehículos motrices y remolques diseñados para circular por una vía férrea), permitiendo así el transporte de pasajeros y mercancías. El transporte ferroviario de mercancías se refiere, por tanto, a la parte del transporte ferroviario dedicada al transporte de todo tipo de mercancías.

El ferrocarril nace a principios del siglo XIX, en el contexto de la Revolución Industrial, y experimentó un rápido crecimiento, especialmente en Europa y América. Sin embargo, a lo largo del siglo XX, el transporte ferroviario perdió importancia frente

al automóvil, especialmente en el transporte de mercancías, aunque continuó desarrollándose. Durante este período, surgieron la tracción eléctrica y diésel, así como los primeros trenes de alta velocidad. Fue a finales del siglo XX que nuevas tecnologías como la levitación magnética y el hyperloop hicieron su aparición.

En la actualidad, el ferrocarril está recuperando su importancia, especialmente gracias al desarrollo del transporte de alta velocidad de viajeros. En el contexto del cambio climático y debido a su eficiencia energética favorable, el transporte de mercancías por ferrocarril también busca recuperar su papel.

Debido a sus características técnicas, el transporte ferroviario se considera más ecológico, ya que emite menos GEI por pasajero o por tonelada transportada que otros modos de transporte como el transporte por carretera o el avión. Para ilustrar esta evidencia, en España, durante el año 2019 el transporte ferroviario de mercancías representó el 4,4% de cuota modal del transporte interior de mercancías en términos de tkm. Sin embargo, las emisiones de CO_2 eq. del sector del ferrocarril al completo, incluyendo el transporte de viajeros, únicamente representaron el 0,27% del total de las emisiones del sector del transporte [2]. Esto destaca el favorable impacto medioambiental del transporte ferroviario. El fomento de su uso permitiría reducir considerablemente las emisiones de GEI y contribuir así a la lucha contra el cambio climático. Además, el transporte ferroviario ofrece otras ventajas como la seguridad o la reducción de los atascos de tráfico, lo que lo convierte en una opción muy atractiva para una movilidad sostenible.

Sin embargo, a pesar de la imagen "verde" del sistema ferroviario europeo ampliamente electrificado, es importante destacar que el 40% de la red no está equipada con catenarias, y que aproximadamente el 20% del tráfico total circula por estas secciones, principalmente gracias al uso de trenes diésel [3]. En el contexto del cambio climático, la industria ferroviaria busca por tanto descarbonizar dicha parte de la actividad reemplazando el material, en particular las locomotoras diésel.

Las locomotoras se utilizan para el transporte de viajeros y mercancías. El alto grado de electrificación de las líneas ferroviarias en Europa permite el uso de locomotoras eléctricas para el transporte de mercancías. Sin embargo, las locomotoras diésel también se utilizan ampliamente, especialmente para cubrir los últimos tramos no electrificados de largos itinerarios y por la flexibilidad que ofrecen al poder circular en vías no electrificadas en caso de congestión de la red electrificada [4].

El problema medioambiental actual radica, por tanto, en que no toda la red ferroviaria está electrificada. Diferentes tecnologías como trenes a baterías o trenes de hidrógeno se presentan como alternativas al diésel. Los trenes con baterías aún se

encuentran en fase de prototipaje, mientras que varios trenes de hidrógeno ya están en servicio comercial. Sin embargo, estas dos tecnologías están actualmente limitadas al transporte de pasajeros, ya que la evolución y el funcionamiento del transporte de viajeros presentan una naturaleza y requisitos técnicos muy diferentes a los del transporte de mercancías. Otros combustibles de bajas emisiones, como los biocombustibles y los e-combustibles, también se postulan como alternativas al diésel.

La Comisión Europea es consciente de la urgencia del cambio climático y de las ventajas del transporte ferroviario de mercancías. Por ello, en 2019, elaboró el "Green Deal for Europe", enfocándose en la importancia de aumentar el uso del transporte ferroviario [5]. En respuesta a este documento, algunos países como Francia o España se han fijado objetivos específicos para acercarse a la participación promedio observada en la Unión Europea. De hecho, en 2020, la participación promedio del transporte ferroviario de mercancías en los 27 Estados miembros fue del 16,8%. Actualmente, en Francia, el transporte ferroviario de mercancías representa aproximadamente el 9% del total nacional, mientras que el objetivo es alcanzar una participación del 18% para 2030 y del 25% para 2050 [6]. En cuanto a España, su objetivo es aumentar la participación del ferrocarril al 10% para 2030, dado que actualmente representa solo el 4% [7].

Para poder alcanzar dichos objetivos, distintos países europeos, entre los que se incluye España, han elaborado una estrategia de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías. Para poder acoger el incremento previsto de la actividad del sector es imprescindible analizar las limitaciones actuales y los puntos de mejora, así como entender el papel del transporte ferroviario en el sector del transporte. El estudio realizado en este proyecto permite identificar los puntos críticos y los desafíos que afectan a la competitividad tecno-económica del sector respecto a otros modos de transporte, realizando así un análisis de la pertinencia y coherencia de la estrategia nacional.

2. Objetivos

El objetivo de este proyecto es realizar un análisis de la estrategia española de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías. Para ello, se realiza un análisis del estado actual del sector del transporte de mercancías en España, así como del sector ferroviario en otros países europeos y sus respectivas estrategias. En particular, se analiza la situación en Alemania, Polonia y Francia. Posteriormente se pondrá el foco sobre la estrategia nacional española, analizando en detalle las medidas propuestas a través de una matriz de indicadores.

Tras dicho análisis, será posible de determinar la pertinencia, viabilidad y coherencia de la estrategia española desde un punto de vista de las necesidades del sector, de los distintos cuellos de botella, viabilidad tecnológica y objetivos establecidos.

3. Metodología

3.1. Transporte de mercancías en España

En el ámbito nacional se cuenta con el Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE), un organismo nacido bajo iniciativa del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Este se encarga del seguimiento del transporte y la logística en el país, así como de publicar datos y estadísticas sobre el mismo que permitan proporcionar una visión global del sector.

En los siguientes apartados se detalla la evolución y situación actual del transporte de mercancías en su conjunto según los últimos datos publicados por el OTLE, si bien durante los siguientes capítulos se profundiza sobre el sector ferroviario.

3.1.1. Reparto modal

Debido a las marcadas diferencias en términos regulatorios, económicos y de infraestructura en cada territorio, el estudio del mercado del transporte puede dividirse en nacional e internacional. En lo que respecta el tráfico de mercancías con origen y destino dentro del territorio nacional, se tiene que en 2021 se transportaron un total de 1.609 millones de toneladas, de las cuales la carretera transportó el 96%, siendo la participación del resto de modos casi anecdótica.

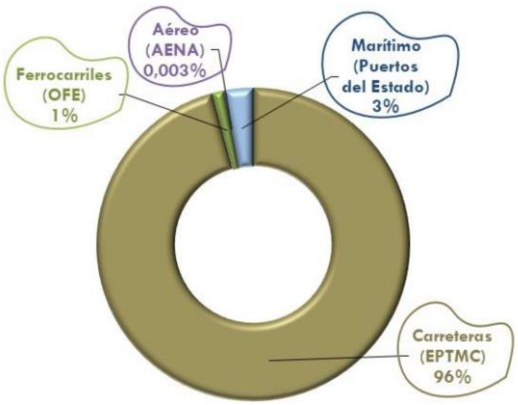

Figura 1 Reparto modal del transporte nacional de mercancías (t), 2021 [2]

Sin embargo, el transporte internacional presenta una repartición muy distinta. En 2021 se transportaron un total de 573 millones de toneladas. De estas, el 78,3% fueron transportadas por vía marítima, y el 20,7% por carretera, siendo la participación del resto de modos de transporte prácticamente despreciable. Los datos anteriores permiten igualmente identificar una mayor importancia del transporte nacional de mercancías, representando el 74% del total de las toneladas transportadas durante el año 2021.

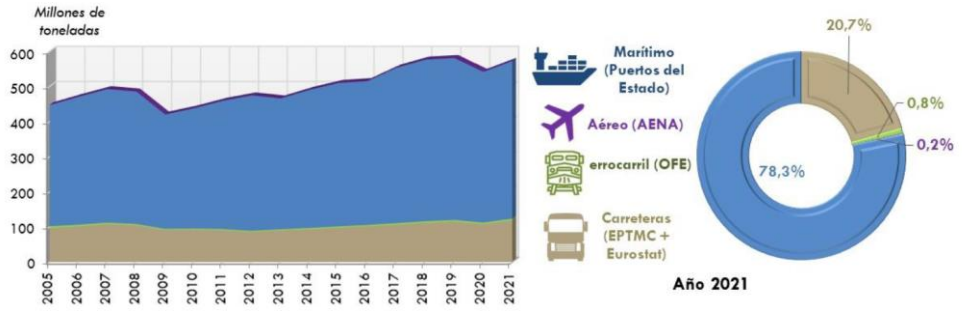

Figura 2 Reparto modal del transporte internacional de mercancías (t), 2021 [2]

3.1.2. Carretera

Como se ha presentado, el transporte de mercancías por carretera acoge, con diferencia, la mayor actividad del transporte de mercancías. Durante el año 2021 este modo transportó un total de 1.660 millones de toneladas; 1.541 (93%) correspondientes al transporte nacional y 119 (7%) correspondientes al internacional.

Analizando las siguientes figuras, se observa que el transporte internacional, en términos de tkm es tiene una mayor importancia, lo que sugiere una mayor distancia recorrida por tonelada, de media. Desde otro punto de vista, la característica anterior indica la fuerte predilección por la carretera para el transporte de cortas y medias distancias.

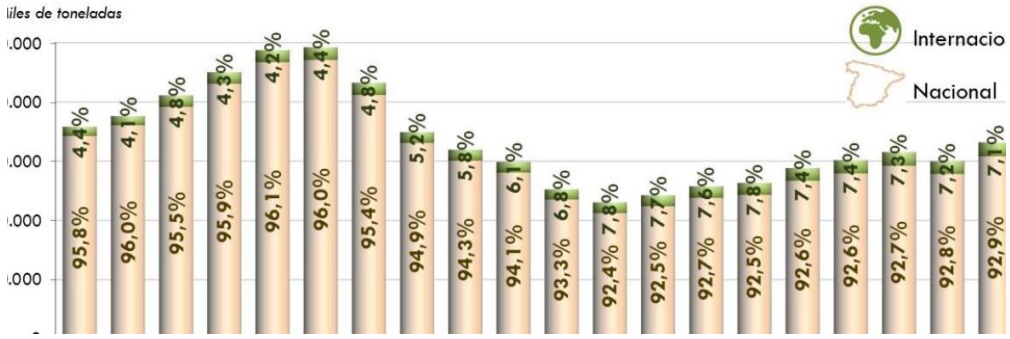

Figura 3 Evolución del transporte de mercancías por carretera (t), [2]

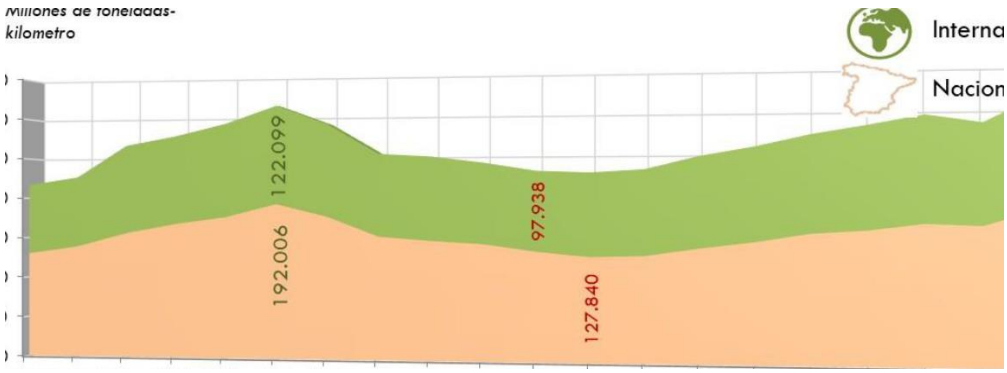

Figura 4 Evolución del transporte de mercancías por carretera (tkm) [2]

En cuanto a los flujos de mercancías, el siguiente mapa representa las principales relaciones interregionales según las toneladas transportadas. Se evidencia un mayor flujo entre las regiones con una mayor población y actividad económica.

Figura 5 Mapa de principales flujos unidireccionales interregionales de mercancías por carretera (t), 2021 [2]

Finalmente, el siguiente diagrama presenta la actividad del transporte con origen o destino España durante los años 2020 y 2021. En se desglosa en importaciones y exportaciones, así como en sus respectivos orígenes y destinos. Cabe destacar la mayor relevancia de Francia y Portugal, ambos países fronterizos. Sin embargo, si se estudia este escenario bajo la métrica tkm, se tiene una diferencia menos acusada entre los distintos países debido a la mayor distancia recorrida al encontrarse más alejados geográficamente.

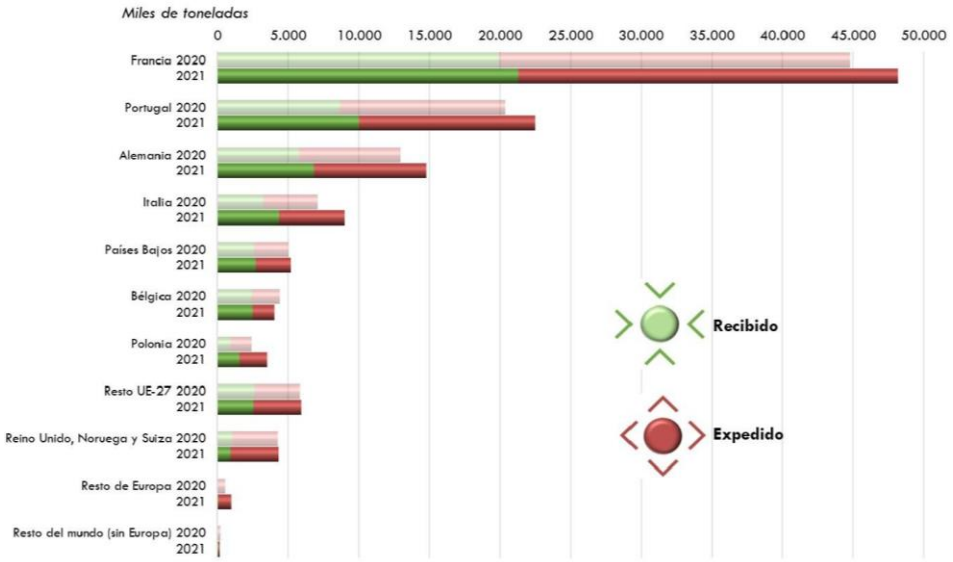

Figura 6 Ámbito del transporte de mercancías por carretera (t), 2020-2021 [2]

3.1.3. Ferroviario

El transporte ferroviario de mercancías transportó un total de 24,78 millones de toneladas en 2021, de las cuales 10,16 (41%) se corresponden con el vagón completo nacional, 9,89 (40%) con el vagón intermodal nacional, 1,99 (8%) con el vagón completo internacional y 2,74 (11%) con el vagón intermodal internacional.

A primera vista, resulta evidente a la pérdida de importancia del vagón completo nacional a lo largo de los últimos años. Además, a diferencia de lo que ocurre con el transporte por carretera, no se observa una gran diferencia entre las evoluciones según toneladas y tkm. De hecho, la única variación notable se corresponde con el vagón intermodal nacional, lo que indica que, de media, es este tipo de vagón el que más distancia recorre. Finalmente, este mismo análisis también permite identificar la corta distancia recorrida por el transporte ferroviario de mercancías internacional.

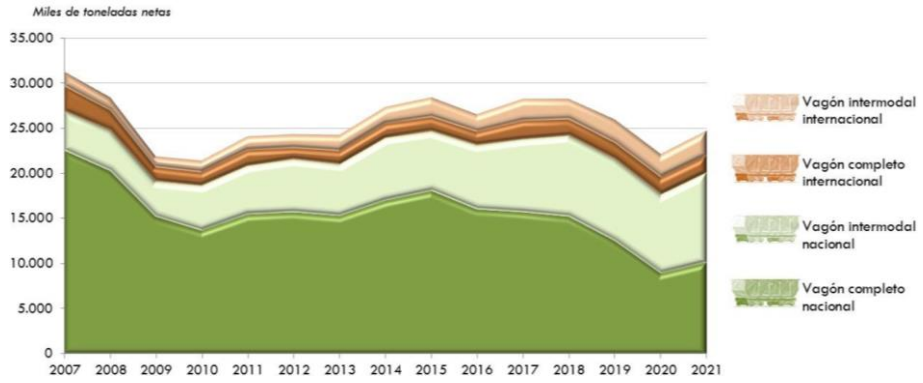

Figura 7 Evolución del transporte ferroviario de mercancías (t) [2]

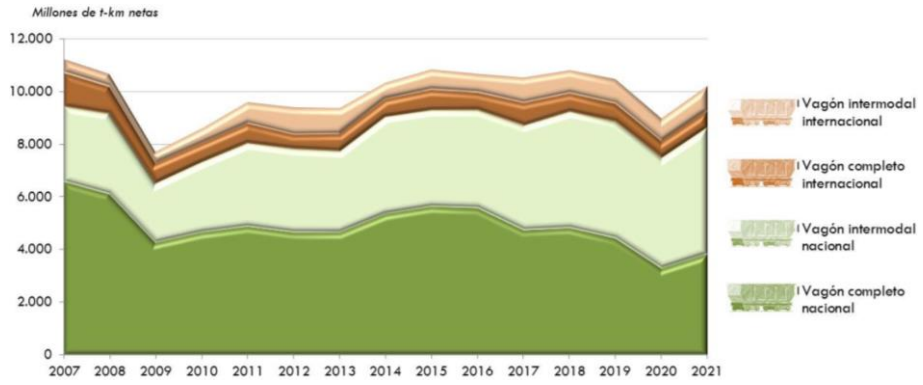

Figura 8 Evolución del transporte ferroviario de mercancías (tkm) [2]

En adición, cabe analizar la evolución de una serie de indicadores que ilustran el estado del sector. Estos son el recorrido medio de los trenes, el recorrido medio de la mercancía, la velocidad media de circulación y el aprovechamiento del transporte. Para todos ellos, se tiene una muy ligera variación, habiéndose mantenido prácticamente constantes durante casi las dos últimas décadas, siendo el aprovechamiento del transporte el único indicador en aumentar su valor ligeramente.

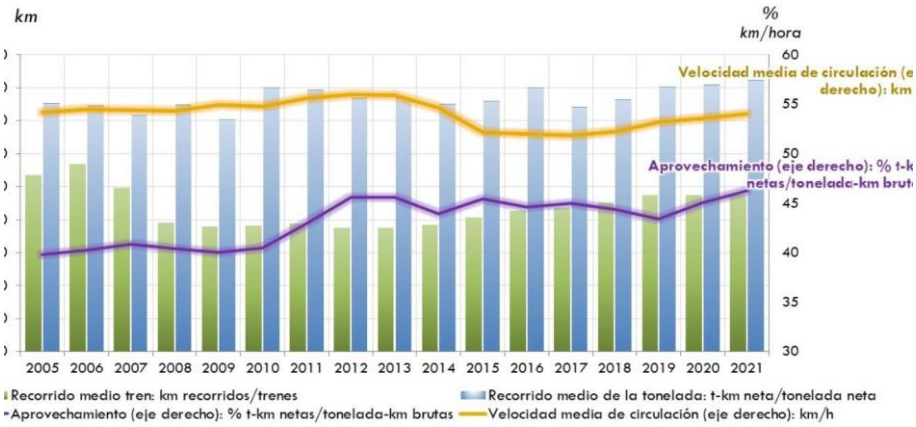

Figura 9 Evolución de indicadores del transporte ferroviario de mercancías [2]

Finalmente, el siguiente mapa representa los principales flujos de mercancías según tkm. Se evidencia un menor número de conexiones que por carretera, así como la existencia de flujos de mayor distancia, si bien estos siguen relacionando los principales núcleos poblacionales del país.

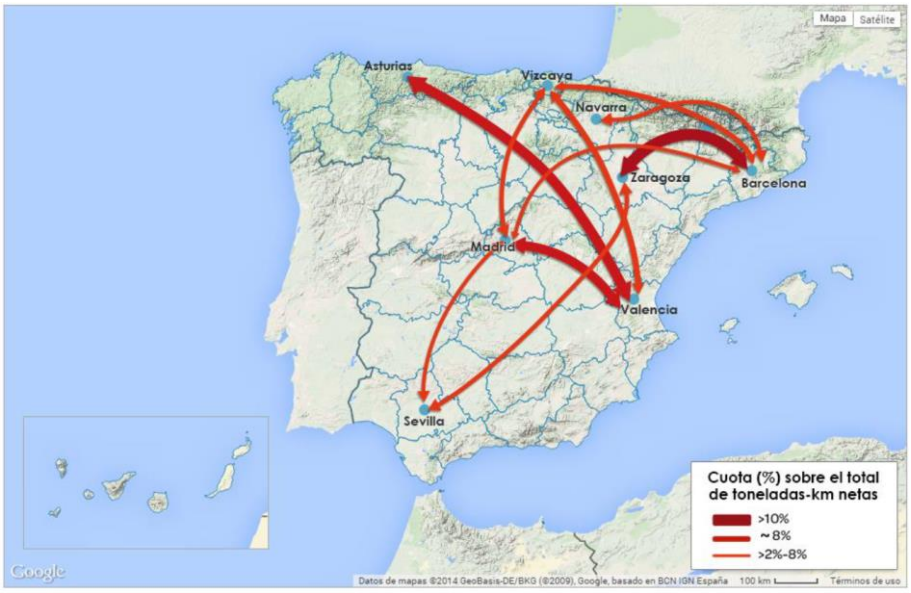

Figura 10 Mapa de principales flujos ferroviarios de mercancías (tkm), 2020 [2]

3.1.4. Aéreo

Históricamente, el transporte aéreo de mercancías ha representado una actividad más reducida que los modos anteriores. Durante el año 2021 se transportaron 945.211 toneladas, de las cuales 59.783 (6%) se corresponden con el transporte nacional.

A diferencia de los modos anteriores, este sigue una clara tendencia al alza de la actividad. Se observa un crecimiento importante del transporte internacional desde el

año 2014, únicamente interrumpida durante el año 2020. Sin embargo, se tiene un descenso de la carga transportada a nivel nacional.

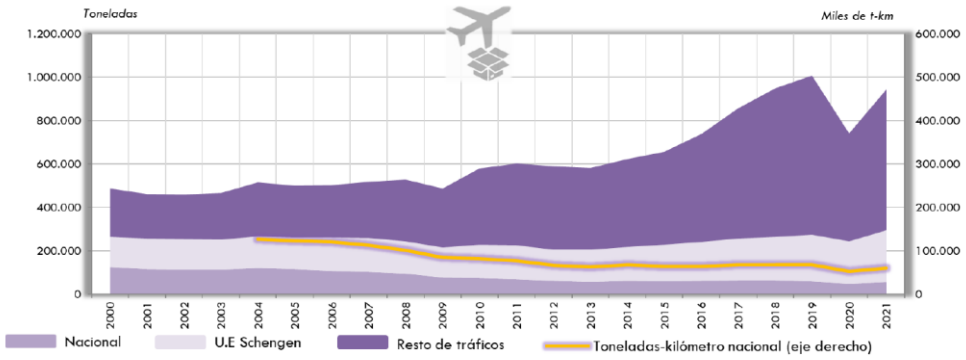

Figura 11 Evolución del transporte aéreo de mercancías (t y tkm) [2]

El siguiente mapa representa las principales relaciones del transporte aéreo de mercancías nacional. Se destaca el importante papel de las conexiones con los archipiélagos Balear y Canario, aislados geográficamente, así como de grandes núcleos poblacionales.

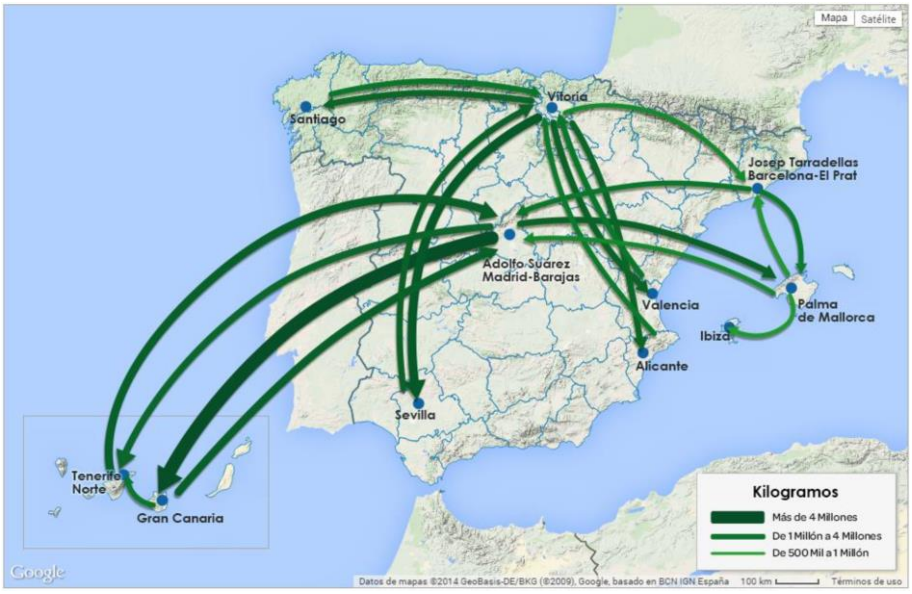

Figura 12 Mapa de principales flujos aéreos de mercancías (kg), 2021 [2]

3.1.5. Marítimo

El transporte marítimo de mercancías ha seguido un crecimiento relativamente constante a lo largo de las dos últimas décadas, habiéndose alcanzado en 2021 una cifra total de 497 millones de toneladas transportadas, de las cuales 449 (90%) se corresponden con el transporte exterior, y 48 (10%) con el nacional. Cabe destacar la alta importancia del transporte exterior en este modo de transporte, así como su claro crecimiento.

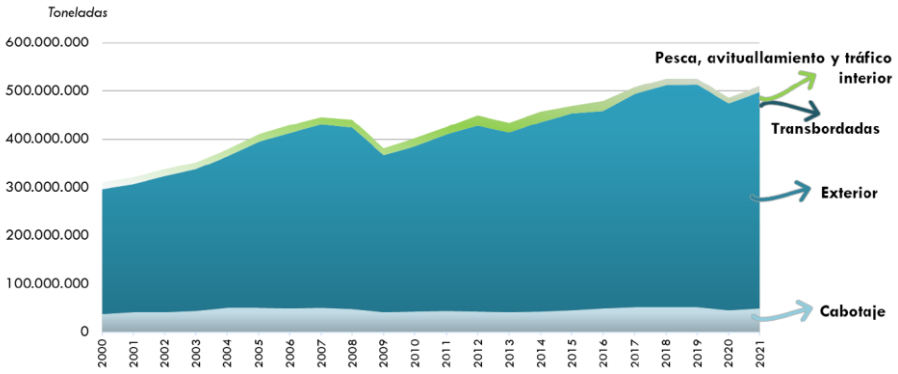

Figura 13 Evolución del transporte marítimo de mercancías (t) [2]

La siguiente figura permite identificar la naturaleza de las mercancías gestionadas en los principales puertos nacionales durante el año 2021.

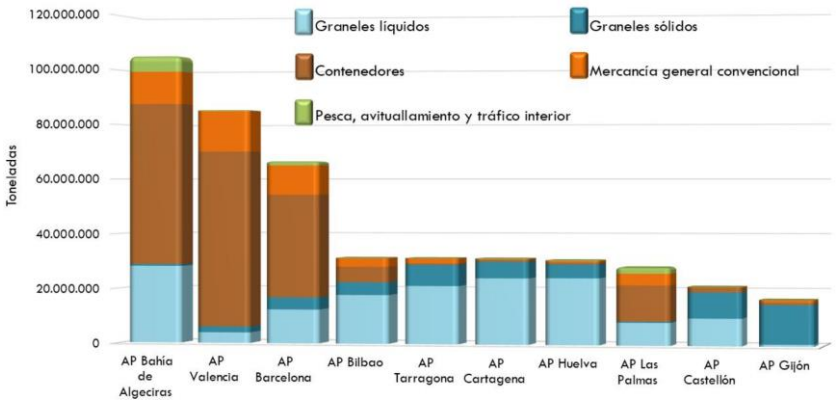

Figura 14 Actividad de los principales puertos nacionales (t), 2021 [2]

3.1.6. Multimodalidad e intermodalidad

Tanto el transporte multimodal como intermodal implican el uso de varios modos de transporte. Sin embargo, estos se diferencian en el número de contratos y cómo se organiza la carga según unidades de transporte:

- El transporte multimodal sólo requiere de un único contrato, de manera que la responsabilidad de la mercancía recae sobre un único operador multimodal que coordina el envío. Además, este permite el uso de varias unidades de medida.
- El transporte intermodal implica varios contratos y utiliza una única medida de transporte sin que se manipule la carga en los puntos de cambio.

Las cadenas multimodales transportaron 250,3 millones de toneladas en 2021, de las cuales 224,6 (89,7%) corresponden a la cadena marítimo-carretera, 12,9 (5,2%) a la carretera-ferroviario, 11,9 (4,7%) a la marítimo-ferroviaria, y 0,9 (0,4%) a la carretera-aéreo. Sin embargo, históricamente, las cadenas unimodales representan una actividad

significativamente superior, habiendo sido la cuota total de las cadenas multimodales del 15,1% en 2021. La siguiente figura muestra la evolución de las cuotas de cadenas multimodales y unimodales.

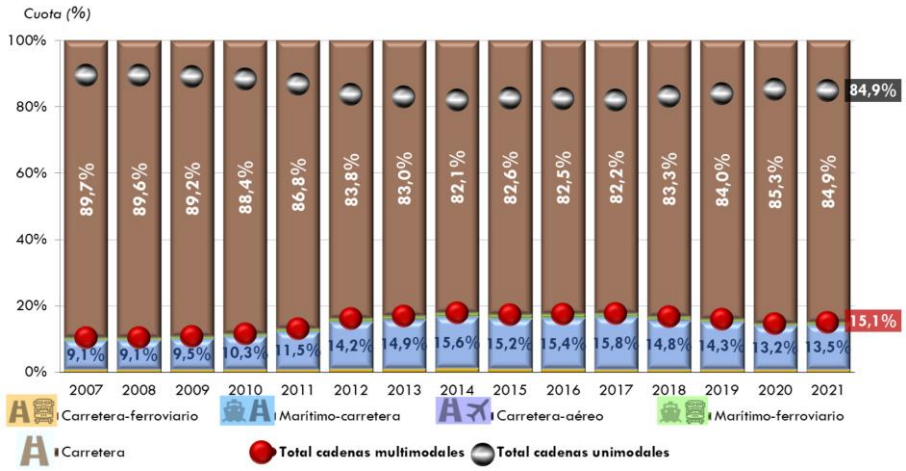

Figura 15 Evolución de las cuotas de cadenas multimodales y unimodales (t) [2]

Respecto al transporte intermodal, en 2021 se transportaron un total de 278 millones de toneladas en contenedor, de las cuales 77 (28%) se movilizaron por carretera, 13 (5%) por ferrocarril y 188 (68%) por vía marítima.

Finalmente, la siguiente figura presenta la evolución de la cuota de transporte intermodal de cada modo.

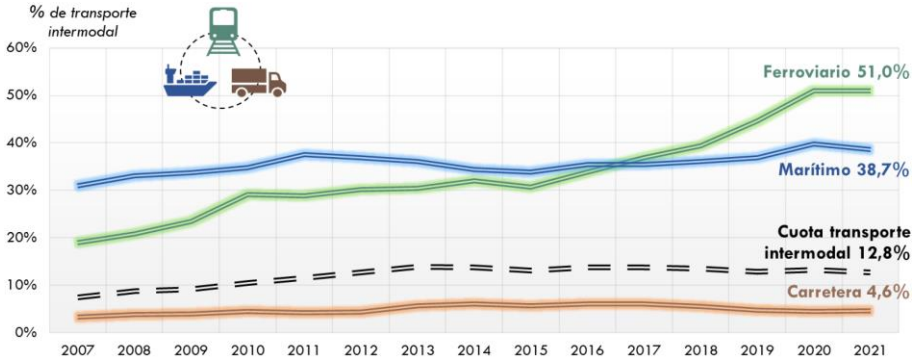

Figura 16 Evolución de la cuota de transporte intermodal por modo (t) [2]

3.2. Partes interesadas

Entre los estados miembros de la Unión Europea se encuentra una estructura de partes interesadas similar para el transporte ferroviario de mercancías como consecuencia de las normativas comunes, principalmente. Dicha estructura se puede dividir en autoridades, administradores de la infraestructura, operadores ferroviarios, clientes e industriales, que se pueden subdividir a su vez de la manera recogida en la siguiente tabla (las subdivisiones seguidas de un * representan organismos específicos a modo de ejemplo):

Autoridades	Internacionales	Unión Europea
	Nacionales	Estado
		Regiones
		Reguladores del mercado del transporte
Administradores de la Infraestructura	Red Nacional	SNCF Réseau *
		DB Netze *
		PKP *
		ADIF *
	Red Privada	Port du Havre *
Operadores Ferroviarios	Generalistas (OF)	Fret SNCF *
		DB Cargo *
		PKP Cargo *
		RENFE Mercancías *
	Proximidad (OFP)	Normandie Rail Services *
Cargadores	Clientes	Organismo que contrata un transporte
Industriales	Material Rodante	Constructores de material
		Constructores de equipos
	Construcción	ACS *
	Proveedores de Energía	Eléctrica
		Carburantes
		Hidrógeno

Tabla 1 Partes interesadas del transporte ferroviario de mercancías

3.2.1. Autoridades

Las autoridades tienen la responsabilidad de establecer el marco legislativo y las directrices del sector, así como de fijar objetivos específicos. Las secciones siguientes recopilan las competencias de las diferentes autoridades sobre el transporte ferroviario de mercancías.

3.2.1.1. Unión Europea

La Unión Europea desempeña un papel coordinador al establecer normativas armonizadas y regular el mercado. Establece políticas para abordar cuestiones como los estándares de ancho de vía, el acceso a la red y la liberalización del sector. Además, coordina la interconexión de las diferentes redes nacionales y proporciona financiación para proyectos comunes. Europa también establece objetivos ambientales comunes y fomenta activamente la adopción de prácticas respetuosas con el medio ambiente. A través de estas políticas se fomenta la cooperación entre los países miembros y se contribuye al desarrollo más eficiente y sostenible de toda la red europea.

3.2.1.2. Estado

Los estados establecen normativas específicas para sus territorios, siempre respetando las directrices europeas. Se encargan de diseñar las estrategias de desarrollo del sector ferroviario, la planificación territorial, la elaboración de estándares de seguridad y la fijación de objetivos nacionales.

3.2.1.3. Regiones

Las regiones son responsables de la financiación y la organización del transporte ferroviario de pasajeros en su territorio. Sin embargo, en lo que respecta al transporte ferroviario de mercancías, no tienen competencias delegadas comparables a las de pasajeros. A pesar de ello, las regiones, con el objetivo de fomentar el desarrollo económico en su territorio, mantienen diálogos para identificar los desafíos y necesidades de los diversos actores relacionados con el transporte ferroviario.

3.2.1.4. Reguladores del mercado

Los organismos de regulación del mercado son entidades nacionales independientes cuyo objetivo principal es garantizar la equidad de la competencia entre los actores del mercado y sancionarlos en caso de incumplimiento de las normativas. Son responsables de detectar prácticas anticompetitivas, ya sea a partir de denuncias o por iniciativa propia, de autorizar y supervisar fusiones y adquisiciones de empresas, de vigilar el cumplimiento de la regulación y de sancionar prácticas no conformes.

El *Bundesnetzagentur*, el *Urząd Transportu Kolejowego (UTK)*, la *Autorité de régulation des transports (ART)* y la *Comisión Nacional de los Mercados y la*

Competencia (CNMC) son las autoridades de regulación del mercado en Alemania Polonia, Francia y España, respectivamente.

3.2.2. Administradores de la infraestructura

3.2.2.1. Red nacional

Hacia finales de la década de los ochenta, la cuota modal del transporte ferroviario de mercancías comenzó a disminuir en toda Europa. En ese momento, las compañías ferroviarias, que estaban ampliamente protegidas por un cuasi-monopolio en todos los estados miembros, eran responsables tanto de la operación de los servicios de transporte como de la gestión de la infraestructura. Para abordar esta situación, se publicó la Directiva 91/440/CEE del Consejo el 29 de julio de 1991, relativa al desarrollo de ferrocarriles comunitarios. Esta directiva consideraba que el desarrollo futuro y una operación eficiente de la red ferroviaria podrían facilitarse mediante la separación de la operación y la gestión de la red.

En la actualidad, los gestores de red se encargan de la construcción de nuevas líneas, el mantenimiento de las líneas existentes y la gestión de los sistemas de seguridad y regulación del tráfico.

La *Deutsche Bahn Netze (DB Netze)*, *PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.*, *SNCF Réseau* y *ADIF* son los gestores de las redes nacionales en Alemania, Polonia, Francia y España, respectivamente

3.2.2.2. Red privada

Los gestores de las redes privadas son principalmente puertos marítimos e industrias que utilizan el tren para transportar sus mercancías. Sus redes tienen como objetivo conectar sus instalaciones con la red ferroviaria nacional, e incluyen playas de maniobra, vías férreas y otras infraestructuras necesarias.

3.2.3. Operadores ferroviarios

3.2.3.1. Generalistas (OF)

En línea con la Directiva 91/440/CEE del Consejo, la Directiva 2001/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 26 de febrero de 2001, fue elaborada para modificar la Directiva 91/440/CEE del Consejo relativa al desarrollo de ferrocarriles

comunitarios. Esta directiva exigía que se abriera el acceso a la red ferroviaria a todas las empresas de transporte internacional de mercancías. En 2006, la apertura del transporte internacional de mercancías se hizo obligatoria para todos los estados miembros, y en 2007, se abrió el transporte nacional, aunque algunos Estados ya lo habían abierto en esas fechas. Es por esto por lo que hoy en día conviven diversos operadores ferroviarios.

Actualmente, un operador ferroviario proporciona servicios de transporte bajo autorización previa del administrador de la infraestructura. Los operadores son, por lo tanto, responsables de la gestión del material rodante y de garantizar que este pueda recorrer los itinerarios solicitados, cumpliendo en todo momento con las normas de seguridad y verificando la inexistencia de incompatibilidades técnicas entre el material rodante y la infraestructura antes de su circulación.

3.2.3.2. Proximidad (OFP)

Un operador ferroviario de proximidad (OFP) es una empresa de pequeño tamaño que se especializa en el transporte de mercancías en una región específica. El interés de estos actores reside en que, para poder hacer circular un tren, es necesario formar a los maquinistas para cada locomotora y línea en específico. Los OFP ofrecen diversos servicios, especialmente para la última milla, clasificación y formación de trenes completos. En definitiva, su atractivo se basa en el profundo conocimiento de la red ferroviaria local y sus particularidades operativas y de seguridad. Complementan a los operadores ferroviarios para la última milla y formación de trenes, evitando así formar a sus maquinistas para operar en toda la red nacional.

3.2.4. Cargadores

Se conoce como "cargador" a toda organización que suscribe un servicio de transporte a un operador ferroviario de mercancías y que juega el rol de cliente. Entre estas organizaciones se incluyen empresas, particulares o incluso gobiernos que requieren el transporte de sus bienes.

3.2.5. Industriales

Se entiende por "industrial" a cualquier entidad involucrada que tenga un papel como productor o fabricante de bienes. Entre ellos, se encuentran los siguientes actores en el sector del transporte ferroviario de mercancías:

3.2.5.1. Material rodante

Un fabricante de material rodante es una empresa especializada en el diseño y fabricación de vehículos destinados al transporte ferroviario. Su actividad consiste en desarrollar productos que satisfagan las necesidades de los operadores, aunque a veces también se encarga del mantenimiento y la modernización a lo largo del ciclo de vida de estos vehículos.

Por otro lado, un fabricante de equipos para el sector ferroviario es una empresa especializada en el diseño, fabricación y suministro de componentes para sistemas ferroviarios complejos, como pueden ser los motores eléctricos de una locomotora.

3.2.5.2. Construcción

Una empresa de construcción en el sector ferroviario es una compañía especializada en diversas tareas, como la construcción, reparación, mantenimiento y cuidado de vías férreas, estaciones, sistemas de señalización, catenarias, puentes y túneles ferroviarios, así como en instalaciones relacionadas. En resumen, es toda aquella empresa especializada en la construcción y/o el mantenimiento de infraestructuras ferroviarias.

3.2.5.3. Proveedores de energía

Un proveedor de energía es una entidad encargada de la distribución y suministro de energía. En el ámbito del transporte ferroviario, las distintas fuentes incluyen la energía eléctrica, el diésel y cada vez más el hidrógeno, principalmente.

3.3. Estrategias y objetivos

El transporte ferroviario de mercancías en Europa del futuro tiene como objetivo desarrollar tanto su infraestructura como su material rodante para hacerlo más atractivo, competitivo y capaz de hacer frente al crecimiento previsto de la actividad.

Para alcanzar dichos objetivos, se han lanzado diversas estrategias y hojas de ruta a nivel europeo y nacional. Estos planes de acción tienen como finalidad definir las orientaciones estratégicas para el desarrollo del sector en cada país estudiado, así como fomentar la cooperación entre los Estados miembros de la Unión Europea.

3.3.1. Unión Europea

Entre las numerosas normativas europeas, destacan tres que hacen referencia al desarrollo del transporte ferroviario de mercancías:

1. El Reglamento (UE) N.º 913/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre una red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo establece normas específicas para el sector del transporte ferroviario de mercancías. Este documento establece una serie de normas relacionadas con el desarrollo de un sector competitivo, principalmente en lo que respecta a la creación, desarrollo y coordinación de corredores europeos de mercancías.
2. El Reglamento (UE) N.º 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las orientaciones de la Unión para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte recoge los requisitos y componentes que debe cumplir la infraestructura ferroviaria en Europa, así como un orden de prioridad para su desarrollo. Entre los aspectos más importantes se incluye la implementación del ERTMS, la migración de las redes al ancho de vía estándar de 1.435 mm, la reducción del ruido y las molestias sonoras mediante medidas aplicables tanto a la infraestructura como al material rodante, la mejora de la interoperabilidad, la seguridad en los pasos a nivel y la conexión de la red ferroviaria con la red de navegación fluvial interior de mercancías. En lo que respecta puramente al transporte de mercancías, se consideran medidas como la circulación de trenes de 740 metros de longitud, establecer líneas ferroviarias que permitan una velocidad mínima de 100 km/h y alcanzar una carga de 22,5 toneladas por eje.
3. Finalmente, la Decisión (UE) 2020/2228 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al Año Europeo del Ferrocarril (2021) establece intenciones como el traslado de una parte del tráfico de mercancías por carretera al ferrocarril, el aumento del rendimiento de los corredores ferroviarios, la modernización del

material rodante y el aumento de la capacidad de la red como ejes clave para hacer frente a la problemática del cambio climático.

3.3.2. Alemania

La estrategia de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías en Alemania se basa en el *Rail Freight Masterplan* (Plan maestro del transporte ferroviario de mercancías), un documento elaborado por el Ministerio Federal de Transportes e Infraestructura Digital en junio de 2017 [8].

Este documento identifica las principales causas que obstaculizan el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías, entre las cuales las más importantes son el precio de la electricidad y las tarifas de acceso a la red, que han experimentado un aumento gradual, mientras que el precio del diésel y los peajes de carretera han permanecido relativamente constantes hasta la crisis del COVID-19, lo que ha favorecido el transporte por carretera.

Los objetivos del *Rail Freight Masterplan* se basan en varios ejes, incluyendo la creación de una red de gran capacidad, la promoción de la innovación en el sector, así como la mejora de las políticas del sector de transporte a favor del transporte ferroviario. Para lograr estos objetivos, el documento propone 66 medidas específicas agrupadas en 10 ejes. Estos ejes clave son las siguientes:

1. Proporcionar una infraestructura de gran capacidad para el sector del transporte ferroviario de mercancías: Es esencial adaptar y modernizar la infraestructura poder para acoger un aumento de la actividad y permitir la operación de trenes de 740 metros, según el estándar de la International Union of Railways (UIC).
2. Avanzar en la digitalización del transporte ferroviario de mercancías: La digitalización del sector facilita la transmisión de información en tiempo real, mejora la transparencia de los servicios y facilita el intercambio de datos entre operadores, gestores de la red y clientes.
3. Aumentar el nivel de automatización de las operaciones ferroviarias: Actualmente, varias funciones básicas, como las tareas de supervisión, son realizadas principalmente por humanos. La automatización de estos procesos los hará más seguros y menos susceptibles a interrupciones, lo que también resultará en una reducción de costos. La automatización de las operaciones "last-mile", como el acoplamiento y desacoplamiento de vagones, desvíos automáticos, verificaciones automatizadas del orden de los vagones o inspecciones mediante análisis de video, también mejorará la competitividad del transporte ferroviario de mercancías.

4. Impulsar la innovación tecnológica en el material rodante, teniendo en cuenta la eficiencia económica y el desempeño ambiental del material rodante: El material rodante del futuro debe ser capaz de proporcionar un servicio puerta a puerta y minimizar su impacto ambiental.
5. Promover la multimodalidad y garantizar el acceso a la red ferroviaria: Es importante fomentar la multimodalidad y garantizar un acceso fácil a la red ferroviaria para promover el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías, especialmente para el transporte de vagones aislados.
6. Desarrollar la tracción eléctrica en los ferrocarriles y en la cadena logística: La electrificación de la red debe ampliarse cuando sea económicamente factible.
7. Reducir significativamente las tarifas de acceso a la red ferroviaria y las instalaciones de servicio: La disminución de los costos de acceso a la red fomentará el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías.
8. Limitar la cargas y presión fiscal: La reducción de los impuestos sobre la electricidad para que sean comparables con otros países europeos contribuirá a fortalecer la competitividad del transporte ferroviario de mercancías.
9. Garantizar normas comparables en materia de legislación laboral, legislación social y requisitos de seguridad para todos los modos de transporte: Normas armonizadas promoverán la competitividad del transporte ferroviario de mercancías.
10. Fortalecer la formación inicial y el desarrollo profesional continuo.

El mismo año en que se publicó el *Rail Freight Masterplan*, Alemania también presentó un plan de infraestructuras de transporte que preveía una inversión de 112,3 mil millones de euros para la red ferroviaria en el período de 2017 a 2030. Además, en relación con el plan de desarrollo del transporte de mercancías, se asignaron 30 millones de euros al año entre 2020 y 2024 para las medidas contenidas en este plan [9].

3.3.3. Polonia

Desde una perspectiva de organización política, Polonia se diferencia ligeramente de otros países, ya que no cuenta con un ministerio dedicado exclusivamente al transporte. Las competencias relacionadas con el ferrocarril dependen principalmente del Ministerio de Infraestructuras.

Las características generales del transporte ferroviario de carga en Polonia se resumen en una velocidad operativa promedio reducida, un estado generalmente deficiente de la infraestructura, capacidad limitada y una distribución irregular de la red en el país. Además, varios factores como cierres nocturnos para realizar trabajos,

prioridad dada al transporte de pasajeros, envejecimiento del material rodante (solo el 22% de la flota es capaz de circular a 120 km/h), un control de tráfico rudimentario y una infraestructura no adaptada a la longitud estándar de 740 metros para trenes de mercancías. Además, las tarifas de acceso a la red, expresadas en euros por kilómetro y por tren, son más altas para el transporte de mercancías que para el transporte de pasajeros. Esta situación crea una disparidad con otros países como Alemania, donde la situación es inversa.

Entre los programas de desarrollo, se pueden destacar el *Krajowego Programu Kolejowego* (Programa Nacional Ferroviario) [10] y *el Kierunki rozwoju transportu intermodalnego* (Ejes de Desarrollo del Transporte Intermodal) [11].

El *Krajowego Programu Kolejowego* tiene como objetivo fortalecer el papel del sector ferroviario en el transporte nacional, mejorar la eficiencia, aumentar la seguridad y mejorar el servicio originalmente entre 2015 y 2023. Sin embargo, el programa se ha extendido hasta 2025. Gracias a este plan, desde su implementación hasta 2022 inclusive, se han modernizado 6.439 kilómetros de vías a través de acciones como la reconstrucción de las vías, la adaptación de estas para permitir una mayor velocidad y la implementación del ERTMS, promoviendo así la interoperabilidad.

En este país, el transporte intermodal se considera un elemento clave en el desarrollo sostenible del transporte europeo, en línea con el Pacto Verde Europeo publicado en 2020. Como resultado, el Ministerio de Infraestructuras polaco está elaborando el *Kierunki rozwoju transportu intermodalnego* con el objetivo de promover la creación de proyectos, mejorar la competitividad y poner en marcha nuevas tecnologías. Las palancas de acción de este documento hacen referencia al desarrollo de corredores ferroviarios europeos, al aumento de la capacidad de la red a través de medidas como la adaptación de las vías para permitir una mayor velocidad y la adaptación a las longitudes máximas de los trenes, a la mejora y expansión de la red de terminales intermodales, a la modernización del material ferroviario (excepto las locomotoras, de las cuales el 53% tiene más de 40 años y solo el 13% tiene menos de 10 años) y a la revisión del costo de acceso a la red. En definitiva, esta estrategia pretende trasladar parte del transporte por carretera al ferrocarril mediante el desarrollo del transporte intermodal, en consonancia con las directivas europeas

Durante el período comprendido entre 2015 y 2022, la inversión total en el marco del *Krajowego Programu Kolejowego* asciende a 53,99 mil millones de PLN, aproximadamente 12 mil millones de euros. El presupuesto futuro para el desarrollo de proyectos en curso aún se ha publicado.

3.3.4. Francia

El 23 de junio de 2020, la Alliance 4F (Fret Ferroviaire Français du Futur), una alianza que reúne a todos los actores del transporte ferroviario de mercancías en Francia publicó un manifiesto que contiene un conjunto de medidas necesarias para preservar y desarrollar el sector. Se consideraba que sector había llegado a un punto de no-retorno y que esta era la última oportunidad para actuar. El documento establece el ambicioso objetivo de duplicar la cuota modal de mercado, pasando del 9% actual al 18% en 2030 en términos de tkm. Para lograr este objetivo, se propusieron una serie de 30 medidas agrupadas en 10 ejes [12].

Entre estas medidas, destaca la importancia de flexibilizar la oferta para satisfacer mejor las necesidades de los clientes, promover el transporte combinado e intermodal que involucre a todas las partes interesadas, así como modernizar el material rodante y la red. Algunas de las medidas también hacen referencia a la descarbonización del sector, proponiendo acciones como la creación de etiquetas ecológicas para el transporte, un aumento de las inversiones en la búsqueda de alternativas verdes y el uso del gas natural como sustituto del diésel.

Estas medidas tienen como objetivo mejorar la competitividad del transporte ferroviario de mercancías en Francia y reducir su impacto ambiental. Reflejan el compromiso de los actores del sector en promover un enfoque sostenible y eficiente del transporte ferroviario en el país.

A raíz de la Alliance 4F, el 13 de septiembre de 2021, el Ministerio de Transportes publicó la *Stratégie nationale pour le développement du fret ferroviaire* (Estrategia nacional para el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías). Esta estrategia amplía el objetivo previamente establecido por la Alliance 4F, de aumentar la cuota modal del 9% al 18% para el año 2030, extendiendo este objetivo al 25% para el año 2050 [13].

En este documento también se realiza un análisis exhaustivo de las razones detrás del bajo desarrollo del sector en Francia. Entre las causas identificadas, se destaca una baja densidad industrial, así como una distribución desigual en el territorio, lo que dificulta la construcción de corredores de carga lo suficientemente utilizados para lograr economías de escala. Además, los puertos marítimos franceses han experimentado un crecimiento más lento en comparación con otros países europeos, lo que ha obstaculizado el desarrollo del transporte intermodal. La apertura a la competencia no ha tenido los efectos esperados debido a la falta de comunicación entre los diferentes operadores, lo que ha dificultado la formulación de una estrategia coherente y común de desarrollo. La congestión cerca de las zonas densamente pobladas, donde se encuentra una alta

actividad de servicios regionales, especialmente en París y Lyon, así como la prioridad otorgada al transporte de pasajeros, complican las operaciones. Los conflictos con las obras, generalmente programadas durante la noche, afectan la circulación de trenes de mercancías en el momento de mayor densidad. Históricamente, los diferentes segmentos del transporte ferroviario de mercancías, como los trenes completos, vagones aislados, transporte combinado y carreteras ferroviarias, se diferenciaban claramente, pero actualmente distintos operadores trabajan para adaptar su oferta mediante la provisión de servicios mixtos para aumentar su competitividad. Esto significa que están avanzando hacia un sistema que optimiza la capacidad, permitiendo que menos trenes transporten el mismo volumen de mercancías. Finalmente, la razón principal es la serie de ventajas en términos de flexibilidad, confiabilidad y costos del transporte por carretera, lo que lo convierte en el modo de transporte más utilizado. La falta de regularidad y puntualidad, las tarifas elevadas para envíos dispersos, una cobertura territorial más limitada y la falta de flexibilidad para atender demandas irregulares o urgentes son puntos débiles del transporte ferroviario. Sin embargo, este modo de transporte presenta ciertas ventajas, como un buen desempeño ambiental, la capacidad para consolidar flujos de mercancías y la posibilidad de transportar cargas grandes de gran tamaño, según las autoridades francesas.

La estrategia establecida se basa en la necesidad de coordinación y colaboración entre los diferentes operadores, el gestor de la red y el estado para mejorar diversos aspectos, como la oferta de servicios, la reducción de precios, la fiabilidad, el mantenimiento y la modernización de la red, así como el desarrollo de políticas favorables. Para implementar esta estrategia, se han definido un conjunto de 72 medidas agrupadas en tres ejes:

1. Hacer del transporte ferroviario de carga un modo de transporte atractivo, confiable y competitivo. Este eje tiene como objetivo mejorar la calidad de la respuesta al cliente y la calidad del servicio del gestor de la infraestructura, fortalecer la competitividad del ferrocarril, invertir en innovación y digitalización, y convertir el transporte ferroviario de carga en un modo de transporte 100% ecológico y social. En cuanto al material rodante, según el informe, el 25% de los recorridos todavía se realizan con locomotoras térmicas. Sin embargo, la electrificación completa de la red no es una solución realista debido a su alto costo, de alrededor 1 millón de euro por kilómetro, en relación con los beneficios. Es en colación a este punto que la estrategia hace referencia a la búsqueda de soluciones innovadoras relacionadas con las motorizaciones, como se menciona en la “Medida 31: integrar la sostenibilidad en las áreas de trabajo con los actores del sector en los proyectos de innovación y definir en consulta con los actores los

programas de implementación de soluciones ya disponibles", centrándose en el uso de gas natural, la adaptación de vehículos motorizados térmicos, soluciones de electrificación ligera y económica, y el desarrollo de locomotoras de hidrógeno y híbridas como una solución estructural a largo plazo.

2. Actuar en todos los potenciales de crecimiento del transporte ferroviario de carga. Este eje tiene como objetivo desarrollar todos los segmentos del mercado del transporte ferroviario de carga, fomentar el crecimiento de los puertos marítimos y complementarse con el transporte fluvial. También se tiene en cuenta el desarrollo del transporte internacional en Europa.
3. Acompañar la modernización y el desarrollo de la red. Se contemplan medidas para modernizar la red ferroviaria existente y desarrollar nuevos servicios para mejorar la eficiencia general del sistema.

En el marco del plan "France Relance", el sector ferroviario recibirá un fondo de 4,7 mil millones de euros. De esta cantidad, 4,05 mil millones de euros se destinarán directamente a SNCF Réseau, mientras que 650 millones de euros se asignarán a programas específicos: 300 millones de euros se invertirán en líneas de acceso fino al territorio, 250 millones de euros se destinarán a infraestructuras de transporte ferroviario de mercancías y 100 millones de euros se destinarán a revitalizar los trenes nocturnos.

Además, en colaboración con Europa, se invertirán otros mil millones de euros específicamente en el sector del transporte ferroviario de mercancías, de los cuales el 50% estará financiado por el estado francés.

Finalmente, para apoyar la operación de los servicios, en particular en lo que respecta a la asunción de los peajes por parte de los operadores, se pondrá a disposición un fondo adicional anual de 170 millones de euros entre 2021 y 2024 [14].

3.3.5. España

En España se han llevado a cabo varios intentos para promover el transporte ferroviario de mercancías, sin embargo, la mayoría de las medidas no han llegado a ejecutarse completamente. Además, la apertura a la competencia no ha tenido el efecto esperado, ya que, aunque la actividad de los nuevos operadores ha aumentado, la cantidad total de carga transportada se ha mantenido relativamente constante.

Para hacer frente a la baja actividad, el MITMA lanzó en mayo de 2022 el plan *Mercancías 30*, que establece el objetivo de alcanzar una cuota modal del 10% para el año 2030 [7].

Este plan también realiza un análisis de las causas que obstaculizan el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías. Estas incluyen una concentración significativa de la población en un número limitado de puntos, un sector industrial disperso y menos desarrollado que en otros países vecinos, costos de entrada al sector muy altos (infraestructuras, material rodante, etc.) y la existencia de una extensa red de carreteras con pocos peajes. Las barreras específicas del sector incluyen la prioridad dada al transporte de pasajeros sobre el de mercancías (lo que dificulta los flujos en las grandes ciudades), limitaciones en la infraestructura para trenes de 740 metros o pendientes máximas en las rutas, y la dificultad de interoperabilidad debido a diferentes anchos de vía y sistemas de electrificación y seguridad en comparación con Francia en la frontera. Además, el desarrollo del tren de alta velocidad ha llevado a una reducción del presupuesto para el desarrollo de la red convencional. Las terminales intermodales también requieren modernización. Por último, el tamaño relativamente pequeño de las empresas españolas dificulta la implementación de una infraestructura propia.

La estrategia establecida propone el desarrollo, mantenimiento y renovación de la red, así como la integración ambiental. Para lograr los objetivos establecidos, se agrupan una serie de 29 medidas en 6 bloques temáticos:

1. Infraestructura. Estas medidas buscan adaptar la red ferroviaria para recibir trenes de 740 metros, modernizar los sistemas de seguridad, señalización y electrificación, ajustar las dimensiones de los trenes y mejorar los servicios en las ciudades grandes, especialmente en lo que se refiere a conflictos con los servicios regionales.
2. Gestión de la capacidad. Esta categoría implica revisar las rutas y preferencias del transporte de pasajeros, fomentar la cooperación entre los administradores de la infraestructura y los operadores, minimizar los perjuicios debidos a restricciones temporales como trabajos en la vía, y mejorar la actividad en los puertos a través de una coordinación entre las partes involucradas.
3. Terminales. El desarrollo del transporte intermodal, en particular el marítimo-ferroviario, desempeña un papel crucial en el crecimiento del transporte ferroviario de mercancías. Por lo tanto, es fundamental invertir en infraestructuras capaces de aumentar la eficiencia, como la adaptación para trenes de 740 metros, la definición de modelos de gestión, el desarrollo de soluciones de entrega "last-mile" y la creación de terminales a nivel urbano.
4. Autopistas ferroviarias. Es necesario identificar de manera adecuada los corredores prioritarios para determinar las acciones necesarias para crear rutas eficientes.

5. Digitalización. Al optimizar y estandarizar los procesos de flujo de información, se fomenta la eficiencia en el transporte, la colaboración entre los actores del sistema intermodal y los servicios "last-mile".
6. Ayudas. Se deben establecer ayudas económicas, fiscales y financieras para facilitar la interoperabilidad, las operaciones intermodales y promover la sostenibilidad ambiental y la innovación.

El presupuesto dedicado a la implementación de las medidas anteriores asciende a 8.442,3 millones de euros para el período de 2021 a 2030, de los cuales la mayor parte de este presupuesto se destinará a la modernización de la infraestructura, la digitalización y la automatización.

3.4. Actividad ferroviaria

Hacia finales de los años ochenta, la participación del transporte ferroviario de mercancías comenzó a perder importancia en toda Europa. Era evidente que existía un problema de competitividad en comparación con otros modos de transporte. Por lo tanto, la Comisión Europea consideró que la mejor solución residía en la introducción de la competencia en un sector de transporte que estaba ampliamente protegido por un cuasi monopolio en todos los estados miembros.

En 1991, la Comisión Europea elaboró la directiva 91/440 sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios, marcando así el inicio de la liberalización del sector. Con el fin de mejorar la competitividad del transporte ferroviario, esta directiva estableció la necesidad de separar la gestión de la red de la operación ferroviaria, garantizar la independencia de los actores ferroviarios con respecto al Estado, mejorar la situación financiera de los operadores y otorgar a las organizaciones el derecho de acceso a la red ferroviaria para su uso [15]. A lo largo del tiempo, se lanzaron y revisaron varias normas en términos de infraestructura, seguridad, interoperabilidad y regulación de buenas prácticas, agrupadas en cuatro "paquetes ferroviarios" lanzados respectivamente en 2001, 2004, 2007 y 2016.

El sector del transporte internacional de mercancías fue el primero en abrir sus puertas a operadores privados. En 2006, la apertura internacional se volvió obligatoria para todos los estados miembros, y en 2007, la apertura del transporte nacional, aunque algunos estados ya lo habían abierto en esas fechas. Es a causa de esta evolución que hoy en día conviven distintos operadores privados.

En cuanto a la actividad en sí misma, el transporte ferroviario de mercancías en Europa sigue una muy ligera evolución al alza, en términos de tkm:

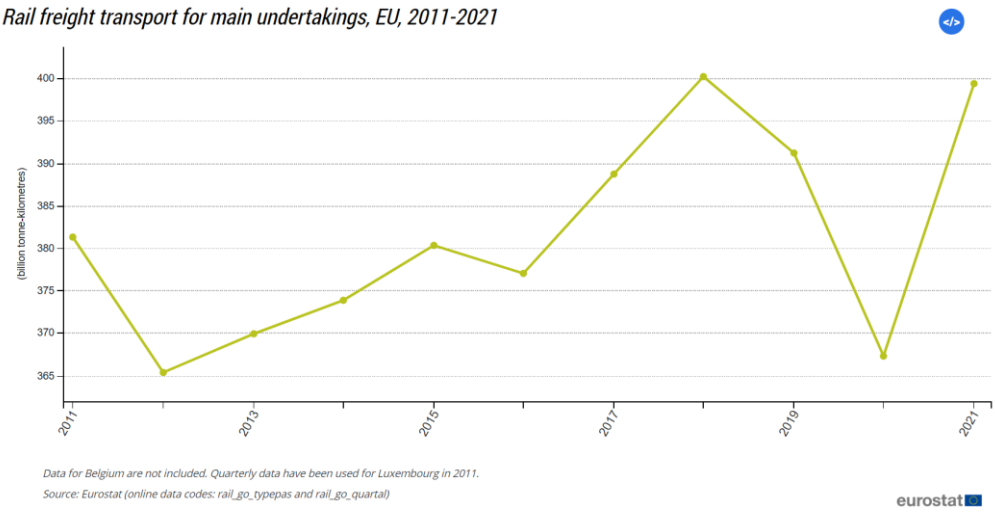

Figura 17 Evolución del transporte ferroviario de mercancías en Europa [16]

Durante el año 2021 se transportaron 399,4 miles de millones de tkm. Alemania representó una actividad de 123 miles de millones de tkm, que aproximadamente representan el 31% del total de la Unión Europea. Polonia y Francia ocuparon respectivamente el segundo y tercer lugar, con 54 (13,5%) y 36 (9%) miles de millones de tkm. España ocupa la posición número 12, con una actividad de 10,5 miles de millones de tkm, alrededor del 3% de la actividad total europea.

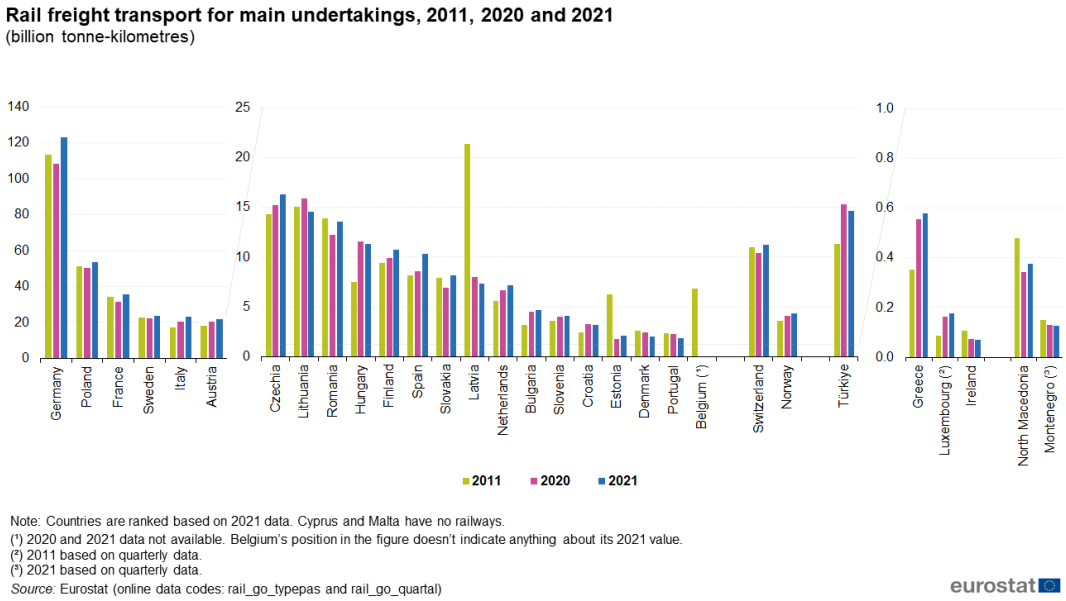

Figura 18 Transporte ferroviario de mercancías por país en Europa, 2021 [16]

Los productos minerales, los productos derivados del petróleo, los metales puros y los productos químicos fueron los productos más transportados por ferrocarril en 2021, respectivamente.

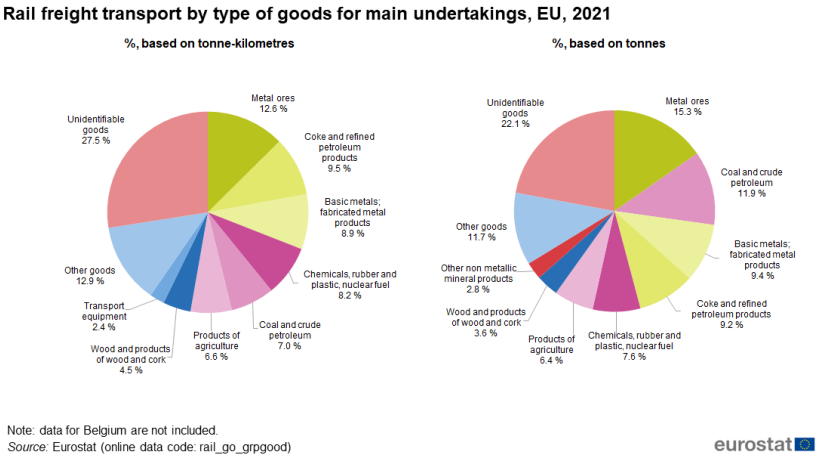

Figura 19 Tipo de bienes transportados por ferrocarril en Europa, 2021 [16]

La evolución y situación actual de los países mencionados anteriormente se detalla en los siguientes subapartados.

3.4.1. Alemania

Alemania es el líder europeo del transporte ferroviario de mercancías. Pese a que la liberalización del mercado tuvo lugar en 1994, fue a partir de la década de los años 2000 que la competencia comenzó a surgir. La situación actual se caracteriza por una cuota modal del 19% en el transporte total de mercancías, de las cuales el 50% se corresponden al transporte interior nacional [16]. Esta proporción resalta la naturaleza altamente internacional del transporte ferroviario de mercancías en Alemania.

La siguiente figura muestra la evolución alemana, donde se puede observar la actividad del sector según la métrica tkm y la cuota de mercado por operador.

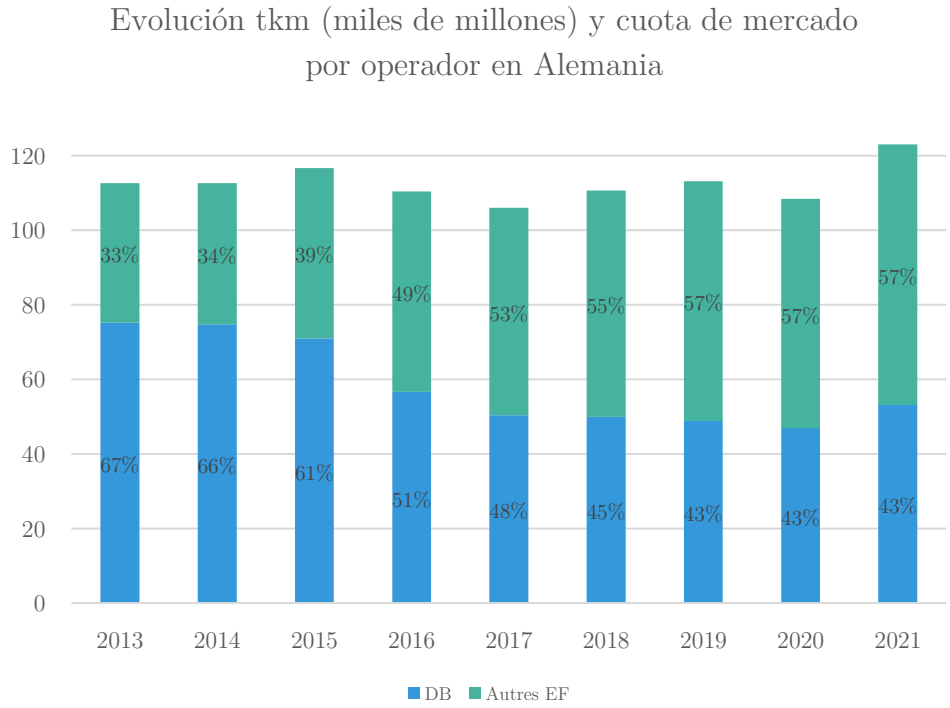

Figura 20 Evolución del transporte ferroviario de mercancías en Alemania [17] [18]

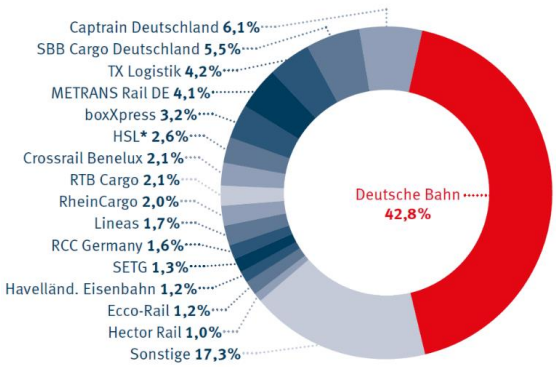

Figura 21 Cuota de mercado por operador en Alemania, 2020 [19]

En comparación con otros países como Francia o España, el mercado alemán está más diversificado. Se observa que el 62,7% del mercado está repartido entre 4 operadores, mientras que el 37,3% del mercado se divide entre numerosos operadores, con una cuota de mercado máxima del 3,2%.

La siguiente tabla presenta los principales operadores en Alemania.

Operador	Descripción
DB Cargo	Con más de 2.600 locomotoras y 31.200 empleados, *DB Cargo* es el operador ferroviario de mercancías más grande de Europa
Captrain Deutschland	Filial de la *SNCF* francesa
SBB Cargo Deutschland	Filial de los *Chemins de Fer Fédéraux (CFF)* suizos
TX Logistik	Filial del *Ferrovie dello Stato Italiane (FS)*
METRANS Rail DE	Filial de *Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA)*, una compañía alemana de logística y transporte

Tabla 2 Principales operadores ferroviarios en Alemania [20] [21] [22] [23] [24]

3.4.2. Polonia

El transporte ferroviario de mercancías en Polonia representa una cuota modal de aproximadamente el 10%, de la cual el transporte nacional desempeña un papel muy importante, representando alrededor del 70% [16]. Actualmente, el mercado se caracteriza por una marcada segmentación, donde los cinco principales operadores representaron el 62,68% de la cuota de mercado en 2022. Además, veinte operadores adicionales tienen participaciones de mercado que oscilan entre el 0,5% y el 3,62%, contribuyendo así al 30,98% de la actividad total del mercado. Por otro lado, una gran cantidad de pequeños operadores representan el restante 6,34% del mercado, en términos de tkm.

La siguiente tabla presenta los operadores principales en Polonia.

Operador	Descripción
PKP Cargo	Parte de los *Polskie Koleje Państwowe (PKP)*, la compañía ferroviaria nacional polaca. Es el segundo operador más grande en Europa
Lotos Kolej	Filial del grupo petrolero polaco *Lotos*
DB Cargo Polska	Filial de la *Deutsche Bahn* en Polonia
PKP LHS	*PKP Linia Hutnicza Szerokotorowa (PKP LHS)* es la filial de *PKP* que opera en la red polaca de ancho de vía ruso de 1.520 mm, situado al este de país próximo a la frontera con Rusia
ORLEN KolTrans	Filial del grupo petrolero polaco PKN Orlen

Tabla 3 Principales operadores ferroviarios en Polonia [25] [26] [27] [28] [29]

La evolución del mercado polaco se representa en la siguiente figura, donde se puede observar la actividad y la cuota de mercado por operador.

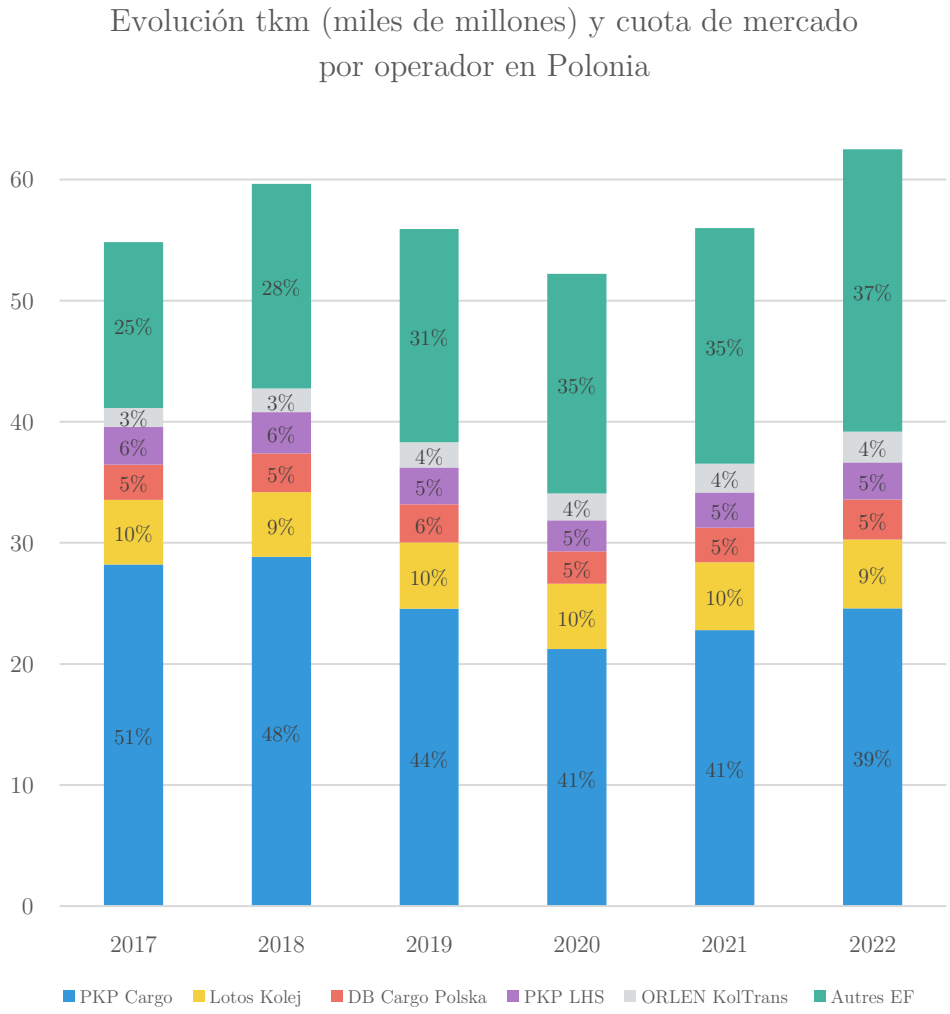

Figura 22 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en Polonia [30]

3.4.3. Francia

Francia abre el transporte internacional de mercancías en 2003, con una primera circulación en 2005, mientras que el transporte nacional de mercancías se liberaliza en 2006. La situación actual se caracteriza por una cuota modal del 9%, de la cual el tráfico nacional representa una proporción del 60%, la cual ha permanecido relativamente estable en los últimos años. Entre los distintos operadores con actividad en el país, destaca la actividad de siete empresas ferroviarias que, desde el año 2017, representan casi el 95% del mercado del transporte ferroviario de mercancías, en términos de tkm.

La evolución de la actividad y cuotas de mercado del transporte ferroviario de mercancías en Francia se muestra en la siguiente figura.

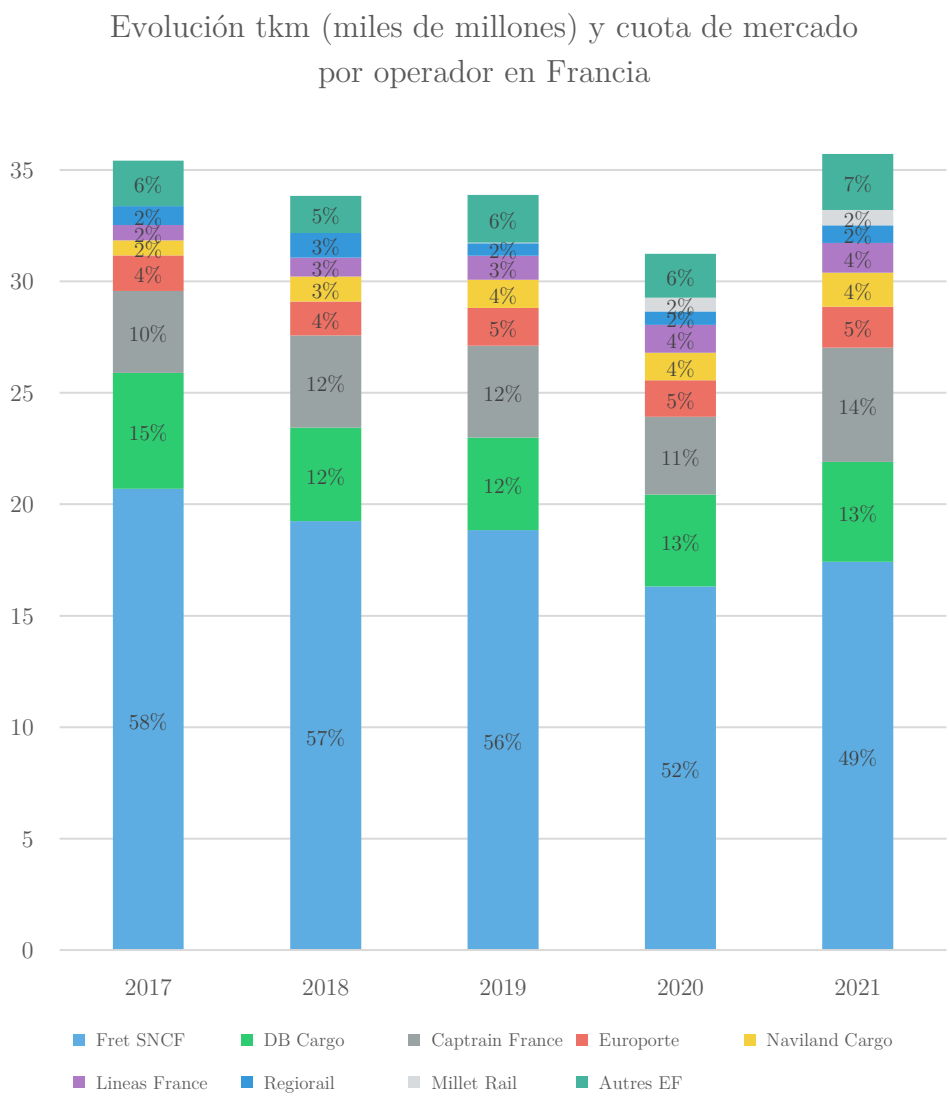

Figura 23 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en Francia [31]

La siguiente tabla presenta a los principales operadores en Francia:

Operador	Descripción
Fret SNCF	Filial de la *Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF)*, la compañía ferroviaria nacional francesa. Es el operador principal en Francia.
DB Cargo	Filial de la *Deutsche Bahn* en Francia.
Captrain France	Es la filial de la *SNCF* en el extranjero.
Europorte	Filial del grupo *Getlink* (concesionario hasta 2086 de la infraestructura del túnel bajo el Canal de la Mancha).
Naviland Cargo	Empresa ferroviaria especializada en el transporte intermodal.
Lineas France	Originalmente, *Lineas* era una filial de la *Société Nationale des Chemins de fer Belges (SNCB)*, luego fue privatizada en 2015.
Regiorail	OFP filial del grupo *Eurorail*
Millet Rail	Empresa de transporte y alquiler de material rodante francesa

Tabla 4 Principales operadores ferroviarios en Francia [32]

3.4.4. España

España liberaliza el transporte internacional de mercancías en 2003 y el nacional en 2005, aunque la competencia no surgió hasta 2007. Actualmente, la situación es crítica. La cuota de mercado representa únicamente el 4% del transporte de mercancías total del país, un valor mínimo que está muy por debajo del promedio europeo (17%). Además, el transporte nacional constituye aproximadamente el 84% de la actividad total del transporte ferroviario de mercancías, de la cual el 50% corresponde al transporte intermodal marítimo-ferroviario.

En España, la evolución de la actividad y de las cuotas de mercado por operador siguen la forma de la siguiente figura.

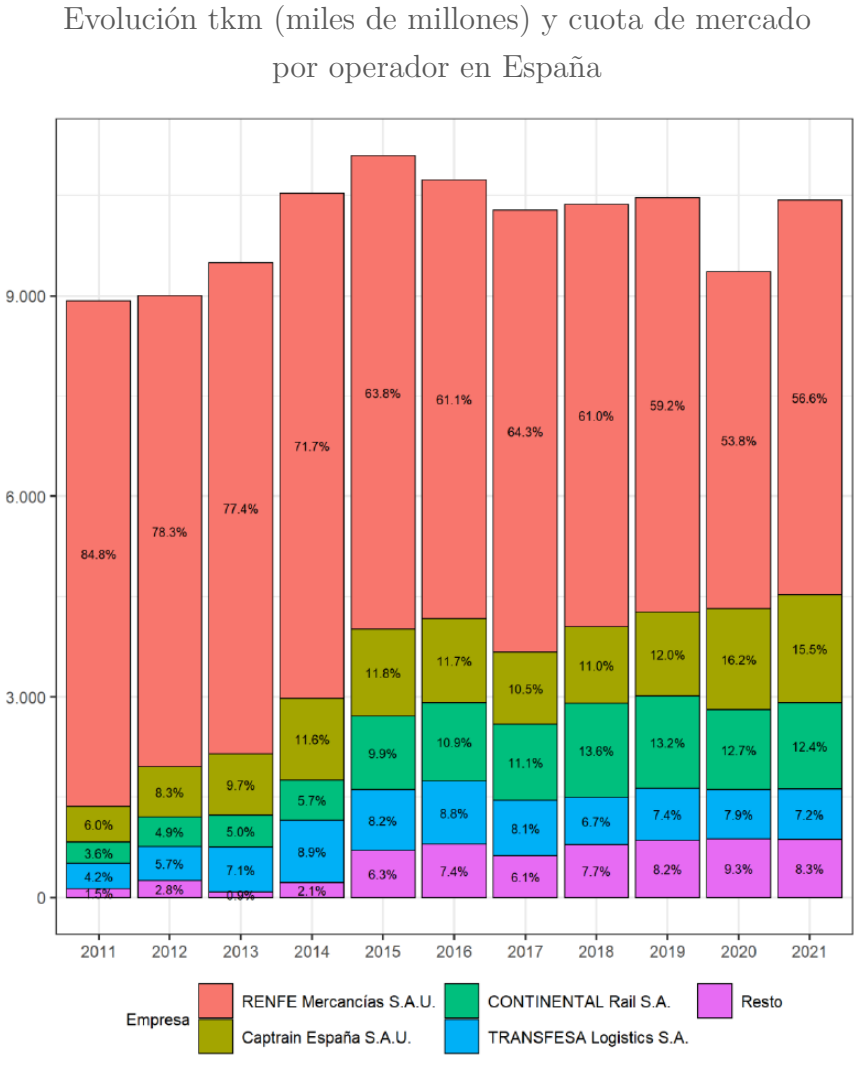

Figura 24 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en España [33]

Desde el año 2011, cuatro empresas ferroviarias representan casi el 95% del mercado. Estas son *RENFE Mercancías*, *Captrain España*, *Continental Rail* y *Transfesa Logistics*.

Operador	Descripción
RENFE Mercancías	Filial de la *Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE)*. Es el operador líder en España.
Captrain España	Filial de la *SNCF* en España
Continental Rail	Filial del grupo francés *CMA CGM*, una de las mayores compañías marítimas a nivel mundial de transporte de contenedores.
Transfesa Logistics	*Tranfesa*, acrónimo de *Transportes Ferroviarios Especiales*, es la filial de la *Deutsche Bahn* en España.

Tabla 5 Principales operadores ferroviarios en España [34] [35] [36] [37]

3.5. Estudio de la red

La mayoría de las redes ferroviarias europeas son propiedad del gobierno o cuentan con algún tipo de participación estatal, y generalmente son gestionadas por una sola entidad pública. Estos administradores de la infraestructura están sujetos a regulación y supervisión independiente para garantizar la competencia libre en el sector, identificar posibles anomalías y aplicar sanciones en caso de incumplimiento de las normas. Los reguladores del mercado también publican informes anuales que presentan indicadores de la actividad ferroviaria y su evolución.

En cuanto a las especificaciones técnicas y las particularidades de cada red, en Europa se han implementado varios sistemas de electrificación por razones históricas, lo que actualmente crea complejidades en la interoperabilidad entre los diferentes países. Entre estos sistemas, los principales son los siguientes [38]:

- 750V CC

  Este sistema se utiliza en la red convencional del Reino Unido, así como en varias redes secundarias europeas, principalmente para alimentar tranvías o metros. A menudo se caracteriza por una alimentación de tipo tercer carril.

- 1,5kV CC

  Este sistema de alimentación se encuentra en el centro y sur de Francia, así como en los Países Bajos.

- 3kV CC

  Este sistema de alimentación está presente en las redes convencionales de Italia, Bélgica, España, Polonia, República Checa, Ucrania, Rusia, Eslovaquia y Eslovenia.

- 15kV 16 2/3 Hz CA

  Esta alimentación utiliza una frecuencia de un tercio de la frecuencia estándar en Europa (50 Hz) para reducir las pérdidas en el transporte de energía. Se encuentra en Alemania, Suiza, Austria, Noruega y Suecia.

- 25kV 50 Hz CA

  Este es el tipo de corriente más común en Europa, habiendo sido adoptado como estándar a nivel europeo. Se utiliza en Francia, Reino Unido, Finlandia, Grecia, Hungría, Luxemburgo, Portugal, Dinamarca, Bélgica, República Checa, Bielorrusia, Ucrania, Rusia, Eslovaquia, Croacia, Bosnia-Herzegovina, Montenegro, Macedonia del Norte, Serbia, Bulgaria, Rumanía y Lituania.

En cuanto a las diferencias en el ancho de vía, se encuentran 5 tipos en Europa:

- Ancho ibérico

  Mide 1.668 mm y se encuentra en España y Portugal.

- Ancho irlandés

  Mide 1.600 mm y solo se utiliza en Irlanda.

- Ancho finlandés

  Con una medida de 1.524 mm, es compatible con el ancho ruso.

- Ancho ruso

  Mide 1.520 mm y se encuentra en Rusia y varios países exsoviéticos como Estonia, Letonia, Lituania, Bielorrusia, Ucrania y Moldavia. También se encuentra en una escala más limitada en zonas fronterizas, especialmente al este de Polonia.

- Ancho estándar

  Con una medida de 1.435 mm, es el ancho de vía más extendido. Fue adoptado como estándar en la Decisión de la Comisión 2011/291/UE del 26 de abril de 2011 para facilitar la interoperabilidad. Se utiliza en el resto de países europeos no mencionados, así como en países que tienen otro ancho de vía, como España, que lo ha adoptado como estándar para líneas de alta velocidad.

Del mismo modo que con los sistemas de electrificación y ancho de vía, en Europa existen numerosos sistemas de seguridad y señalización ferroviaria. Actualmente, se encuentra el ERTMS (European Rail Traffic Management System), que incluye el ECTS (European Train Control System), una iniciativa de la Unión Europea destinada a armonizar los sistemas de gestión del tráfico y seguridad en toda Europa. El objetivo de este sistema de gestión del tráfico es poner fin a las incompatibles entre los distintos sistemas existentes y facilitar la eficiencia y la interconexión entre las redes ferroviarias nacionales. Sin embargo, este sistema todavía se encuentra en fase de desarrollo y no está presente en la totalidad de las líneas.

3.5.1. Acceso a la infraestructura

Las normas de acceso a la infraestructura ferroviaria están definidas por la Directiva 2012/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo. Según los criterios establecidos en los procesos de acceso, las empresas establecidas en un estado miembro de la Unión Europea, o aquellas que apliquen reglas equivalentes a las de la Unión

Europea a través de acuerdos, tienen el derecho de acceder a la red ferroviaria nacional. Un candidato que desee ofrecer servicios de transporte ferroviario debe cumplir con las siguientes condiciones para obtener acceso a la infraestructura:

- Tener en posesión una licencia de empresa ferroviaria emitida por la autoridad competente de cada país (para el transporte nacional) o por la Unión Europea (para el transporte internacional).
- Poseer un certificado de seguridad único, válido para los servicios correspondientes y que permita la utilización efectiva de la infraestructura.
- Garantizar su responsabilidad civil y disponer de un seguro.

Las entidades dedicadas al mantenimiento y reparación de infraestructuras ferroviarias o material rodante, limitadas al transporte de materiales, equipos o elementos necesarios para su actividad, están exentas del requisito de licencia de empresa ferroviaria. No obstante, deben contar con un certificado de seguridad y cumplir con todas las normas de seguridad y circulación.

Además, antes de utilizar un vehículo en el marco especificado por su autorización de puesta en el mercado, una empresa ferroviaria debe verificar que material rodante es compatible con el itinerario. Para ello, todas las especificaciones técnicas, como el peso máximo por eje, el peso máximo por metro, el sistema de electrificación, la longitud máxima de los trenes y la velocidad máxima de cada vía, se pueden consultar en los sitios web de los administradores.

3.5.2. Características

3.5.2.1. Alemania

DB Netze es la parte de la Deutsche Bahn encargada del desarrollo y operación de la mayor parte de la infraestructura ferroviaria alemana. Administra una red de 33.300 kilómetros de vías, lo que representa alrededor del 85% de la totalidad de la red ferroviaria alemana [39].

El Bundesnetzagentur presenta anualmente un informe sobre la actividad del sector, el estado de la red y sus principales características. Durante el año 2022, el 89% de la actividad del transporte de mercancías por ferrocarril en Alemania se realizó mediante tracción eléctrica, en términos de tkm. La mayor parte de la actividad se localizó a lo largo de los cinco corredores ferroviarios europeos que atraviesan el país, especialmente alrededor de las ciudades de Hannover y Frankfurt. Los corredores Mar del Norte-Báltico, Escandinavia-Mediterráneo y Este-Mediterráneo pasan por la ciudad

de Hannover. Del mismo modo, los corredores Rin-Alpino y Rin-Danubio pasan por la ciudad de Frankfurt. Esto conduce a que el eje vertical que conecta estas dos ciudades sea el de mayor actividad en el país (representado en violeta en el siguiente mapa), seguido de la actividad que atraviesa los propios corredores (representada en azul), estando todos los ejes mencionados electrificados.

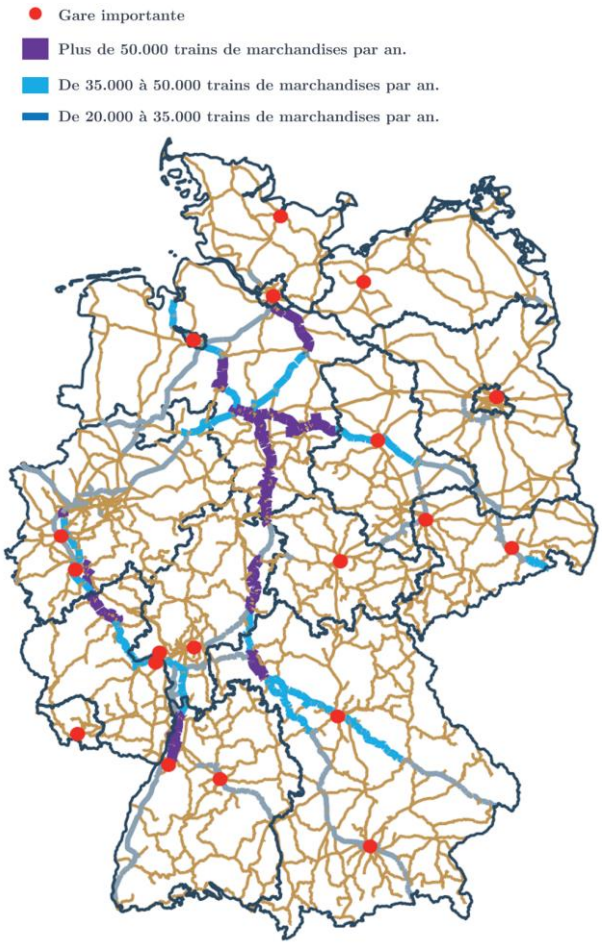

Figura 25 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Alemania, 2021 [40]

Las características principales de la infraestructura ferroviaria alemana se recogen en la siguiente tabla:

Características de la infraestructura alemana	**Nivel (a 31/12/2021)**
Longitud de la red (líneas)	39.261 km
Longitud de la red (vías)	60.700 km
Longitud de la red electrificada (líneas)	21.131 km
Red electrificada (% de líneas)	53,8 %
Longitud de la red de alta velocidad (líneas)	1.104 km
Red de alta velocidad (% de líneas)	2,8 %
El 33% de los trenes de mercancías circulan por el...	5% de la red
Tracción eléctrica de mercancías (tkm)	89 %

Tabla 6 Características principales de la red alemana [41]

3.5.2.2. Polonia

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. es el administrador de la infraestructura ferroviaria polaca, cuyas características son las siguientes:

Características de la red gestionada por PKP (a 31/12/2020)	**Ancho de 1435 mm**	**Ancho de 1520 mm**	**TOTAL**
Longitud total de la red (líneas)	18.522,503 km	141,293 km	18.663,796 km
• Líneas de vía única	9.697,907 km	141,293 km	9.839,200 km
• Líneas de doble vía	8.824,596 km	0 km	8.824,596 km
Longitud de las vías ferroviarias	35.875,615 km	257,349 km	36.132,964 km
• Vías explotadas (salvo estaciones)	27.247,165 km	141,293 km	27.388,458 km
• Vías de estaciones	8.628,450 km	116,056 km	8.744,506 km
Longitud de la red electrificada (líneas)	11.940,509 km	14,419 km	11.954,928 km

Tabla 7 Características principales de la red polaca [42]

El siguiente mapa de calor muestra el volumen de mercancías transportadas y las rutas utilizadas por el transporte fluvial, ferroviario y por carretera. A través de este mapa, es posible identificar los ejes con mayor actividad, si bien no cuantifica el volumen del tráfico.

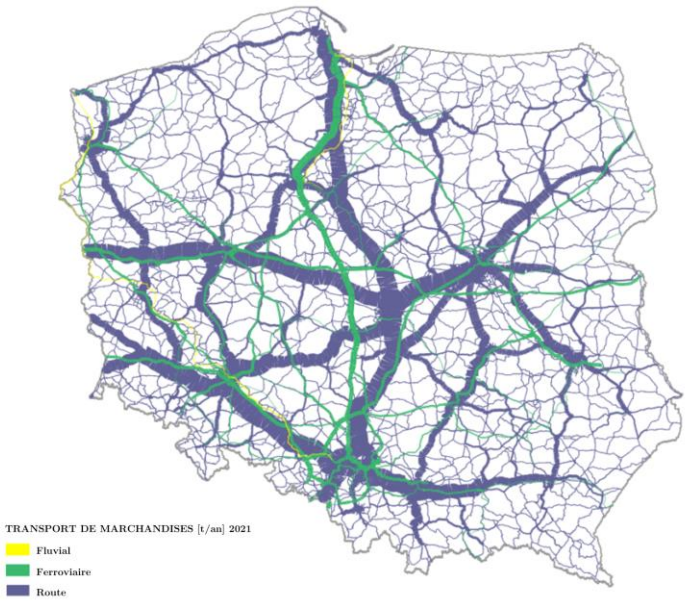

Figura 26 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Polonia, 2021 [43]

En Polonia, se observa que las zonas más activas corresponden con los corredores europeos. Tres de estos corredores atraviesan el país: el Corredor Báltico-Adriático, el Mar del Norte-Báltico y el Eje Amber, todos electrificados. En el mapa de tráfico, también se observa cierta actividad en vías no electrificadas, aunque considerablemente menor. Esto es especialmente evidente entre las ciudades de Elbląg y Braniewo, o entre Suwałki y Białystok, así como en secciones que forman parte de los corredores

ferroviarios, como el que conecta las ciudades de Gdynia-Kościerzyna-Bydgoszcz, que no están electrificadas.

Además, en comparación con los mapas de tráfico de otros países, el de Polonia presenta un interés particular, ya que destaca la actividad del transporte fluvial y por carretera. Se puede percibir una clara correspondencia entre las principales rutas de la carretera y el ferrocarril, lo que sugiere que parte del transporte por carretera podría potencialmente ser transferido al transporte ferroviario, en cuanto a las rutas utilizadas. El Corredor Báltico-Adriático también tiene un interés especial, ya que termina en los puertos de Gdynia y Gdańsk, una característica muy interesante para fomentar el transporte intermodal marítimo-ferroviario.

3.5.2.3. Francia

En Francia, la gestión del Réseau Ferré National (RFN) fue en su mayoría confiada a SNCF Réseau después de la directiva europea que buscaba separar la gestión del tráfico y de la infraestructura, si bien actualmente también existen otros administradores de la infraestructura:

- LISEA gestiona la línea de alta velocidad Tours-Bordeaux bajo un contrato de concesión.
- ERE es el gestor de la línea de alta velocidad Bretagne-Pays de la Loire a través de un contrato de colaboración.
- OC'VIA es el gestor del Contorno Ferroviario de Nimes y Montpellier (CNM) a través de un contrato de colaboración.
- La Región de Occitania es el gestor de la infraestructura de las líneas Montréjeau-Luchon y Alès-Bessèges debido a una transferencia de líneas.

El RFN, que incluye todas las líneas, incluso aquellas que no son gestionadas por SNCF Réseau, presenta las siguientes características a fecha del 31 de diciembre de 2021:

Características del RFN	**Nivel**
Longitud de la red explotada (líneas)	27.700 km
Longitud de la red explotada (vías)	49.110 km
Antigüedad media de las vías	28,6 años
Red electrificada (% de vías)	70,80%
Red equipada con ERTMS 1/2 (% de líneas)	4,00 %
Red de alta velocidad equipada con ERTMS 1/2 (% de líneas)	34,90 %
El 80% del tráfico ferroviario (trenes.km) se realiza en	41% del RNF

Tabla 8 Características principales de la red francesa [31]

El siguiente mapa muestra el tráfico diario de trenes de mercancías en Francia:

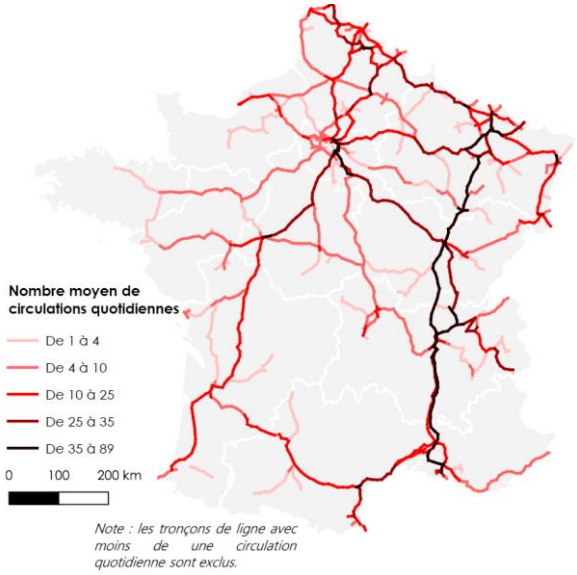

Figura 27 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Francia, 2021 [31]

En Francia, el transporte de mercancías se concentra geográficamente, ya que en 2021 el 50% de estas operaciones se llevaron a cabo en el 12,2% del RFN. Al igual que en los países precedentes, las rutas que conectan los polos económicos franceses y europeos siguen siendo las más transitadas y corresponden a los tres corredores europeos que atraviesan el territorio francés: el corredor del Mar del Norte - Mediterráneo, el del Mediterráneo y el del Atlántico. El eje Luxemburgo-Mediterráneo tiene el mayor número de operaciones diarias, siendo la conexión Metz-Zoufftgen (punto fronterizo con Luxemburgo) una de las más transitadas, con un promedio de 89 trenes diarios. Más al sur, el eje del Ródano cuenta con una fuerte demanda, especialmente en la orilla izquierda del Ródano, con un promedio de 49 trenes diarios, mientras que la orilla derecha tiene un promedio de 30 operaciones diarias desde Lyon hasta Valence y 23 hasta Avignon. Además, el tráfico de mercancías se concentra en algunas líneas fuera de los corredores, como la línea Bordeaux-Sète y la conexión Paris-Dijon, con un promedio de 15 y 35 operaciones diarias, respectivamente. Además, sobre el mapa anterior, se puede identificar varias líneas no electrificadas donde, al menos, se encuentra una circulación diaria, como las líneas de Bordeaux-Niort o Tours-Le Mans, entre otras.

3.5.2.4. España

En España, se presenta una situación particular en cuanto a la administración de la infraestructura ferroviaria, ya que el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) gestiona la red convencional, mientras que ADIF Alta Velocidad (ADIF AV) gestiona la red de alta velocidad. Las características de ambas redes son la siguientes:

ADIF	
Longitud total (líneas)	11.689,2 km
• Red de alta velocidad de ancho de vía estándar (1.435 mm)	57,2 km
• Red de alta velocidad de ancho de vía ibérico (1.668 mm)	84,1 km
• Red convencional de ancho de vía ibérico (1.668 mm)	10.229,5 km
• Red mixta (tercer carril combina anchos de vía estándar e ibérico)	124,9 km
• Red de vía estrecha de vía métrica (1.000 mm)	1.193,4 km
Líneas equipadas con ERTMS	157,4 km
Líneas equipadas con ASFA	10.416,1 km
Líneas equipadas con CTC	8.827,1 km
Líneas electrificadas	6.736,9 km

Tabla 9 Características principales de la red española - ADIF [44]

ADIF Alta Velocidad	
Longitud total (líneas)	3.925,6 km
• Red de alta velocidad de ancho de vía estándar (1.435 mm)	3.027,2 km
• Red de alta velocidad de ancho de vía ibérico (1.668 mm)	137,4 km
• Red convencional de ancho de vía ibérico (1.668 mm)	613,7 km
• Red mixta (tercer carril combina anchos de vía estándar e ibérico)	147,3 km
Líneas equipadas con ERTMS	2.596,2 km
Líneas equipadas con ASFA	3.925,6 km
Líneas equipadas con CTC	3.851,1 km
Líneas electrificadas	3.497,4 km

Tabla 10 Características principales de la red española – ADIF AV [45]

En cuanto a la actividad, el informe de la CNMC presenta el siguiente mapa:

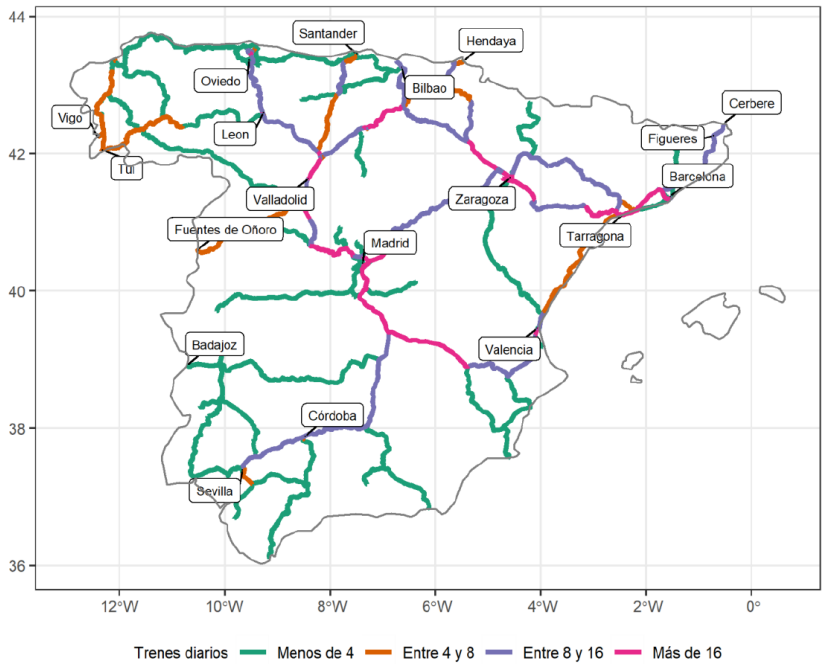

Figura 28 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en España, 2021 [33]

Dos corredores ferroviarios europeos atraviesan el país: el corredor del Atlántico y el corredor del Mediterráneo. Se observa que las rutas más activas son aquellas que conectan Madrid-Valencia y Bilbao-Zaragoza-Tarragona-Barcelona. La primera de estas conexiones forma parte del corredor del Mediterráneo, mientras que la segunda conecta dos de los puertos marítimos más importantes de España, además de Zaragoza, que actúa como punto de conexión entre los dos corredores que atraviesan el país.

En lo que respecta al resto de la actividad, todas las líneas que registran más de 4 operaciones diarias están electrificadas. Sin embargo, las líneas menos transitadas se agrupan en la categoría "menos de 4 trenes diarios", lo que dificulta la obtención de información específica sobre su frecuencia de uso. Esta categoría abarca situaciones muy diversas, ya que existe una diferencia notable entre una circulación de 3 trenes al día y otra de un tren al año, a pesar de clasificarse bajo la misma categoría. Ciertas de estas líneas con una menor actividad no están electrificadas, como las conexiones Almería-Linares o Huesca-Canfranc, entre otras.

3.6. Impacto medioambiental

A lo largo de este documento se ha mencionado en diversas ocasiones el mejor impacto medioambiental del ferrocarril frente a la carretera. Con el objetivo de cuantificar y comparar dicho impacto, se realiza un cálculo de las emisiones de CO_2 para ambos modos de transporte. De esta manera, a través de un análisis de la energía necesaria para realizar una ruta en específico, se pueden calcular y comparar las emisiones asociadas a cada modo de transporte.

3.6.1. Metodología de cálculo

Sea considerado el estudio de un sólido rígido, este obedece la segunda ley de Newton, la cual relaciona el sistema de fuerzas aplicadas sobre este y su aceleración.

$$\sum_{i=0}^{n} \vec{F_i} = m \cdot \vec{a}$$

De la expresión anterior podemos deducir el esfuerzo tractor necesario para mantener una circulación a velocidad constante, es decir, a aceleración nula. Dicho esfuerzo resultante se corresponde, en valor absoluto, con el conjunto de las resistencias al avance del sistema móvil. Dichas resistencias se describen a continuación:

- Resistencia gravitatoria

  Esta resistencia se manifiesta en el movimiento sobre un plano inclinado. La figura siguiente muestra la descomposición de fuerzas y su referenciación a un sistema de coordenadas solidario al plano inclinado.

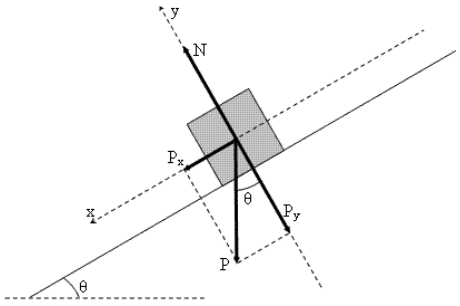

Figura 29 Descomposición de fuerzas en un plano inclinado [46]

  Se observa que, la componente R_x influye en el movimiento, representando una resistencia en rampas ascendentes y una fuerza propulsora en pendientes descendientes. Su formulación es la siguiente, donde R_g representa la resistencia gravitatoria, P el peso del móvil y θ el ángulo del plano.

$$R_g = P_x = P \cdot sin(\theta)$$

- Resistencia a la rodadura.

  Esta resistencia se presenta como consecuencia del contacto entre dos superficies no infinitamente rígidas, como es el caso del contacto rueda-carril/carretera. Durante la rodadura, se genera una ligera deformación en los cuerpos, dando lugar a una distribución no simétrica de las presiones en la huella de contacto. Tal como se ilustra en la figura siguiente, las presiones exhiben valores más elevados en la región de avance, induciendo un desplazamiento de la fuerza resultante con respecto al eje vertical de la rueda. Este desplazamiento origina un par resistente que actúa en sentido contrario al de la rotación.

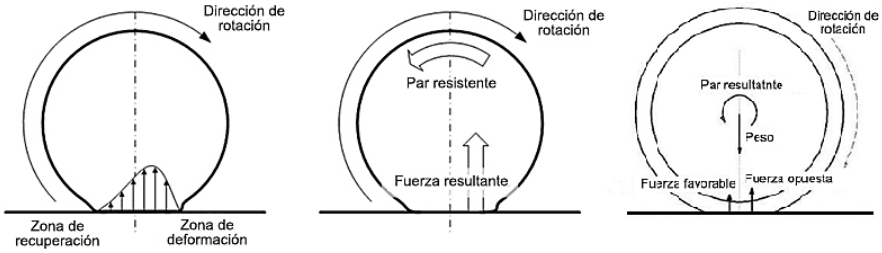

Figura 30 Resistencia a la rodadura [47]

La resistencia anterior puede formularse como sigue, representando R_r la resistencia a la rodadura, P el peso del sistema móvil y f_r el coeficiente adimensional de resistencia a la rodadura, el cual puede variar ligeramente con la velocidad.

$$R_r = P \cdot f_r$$

Adicionalmente, el ferrocarril presenta una resistencia adicional asociada al contacto pestaña-carril en los pasos por curva, principalmente. Este efecto es altamente indeseable, ya que además da lugar a una alta degradación de estos elementos.

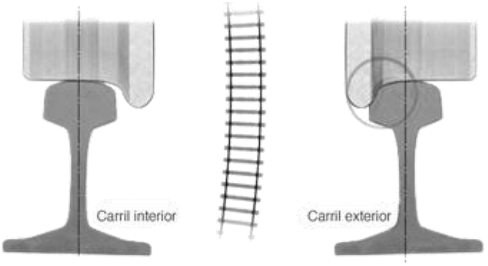

Figura 31 Contacto pestaña-carril [48]

Debido a lo anterior, cabe introducir el concepto de rampa ficticia, utilizada en el ferrocarril para considerar las resistencias en curva. Este concepto equipara la resistencia en curva a una rampa adicional, que se suma a la pendiente real. La rampa ficticia representa, por tanto, la rampa equivalente que tendría un tramo recto con la misma resistencia que el tramo real. La expresión resultante se presenta a

continuación, donde i representa la rampa ficticia, i_r la rampa real (ambas expresadas en ‰) y R el radio de la curva en metros.

$$i = i_r + r_c = i_r + \frac{800}{R}$$

- Resistencia aerodinámica

  Esta resistencia se presenta cuando se produce un movimiento en el seno de un fluido de viscosidad no nula. Esto da lugar a dos fenómenos distintos; el primero consta del rozamiento entre el fluido y el sistema móvil, lo que da lugar a tensiones tangenciales en la superficie del móvil, cuya integral da lugar a una resultante que se opone al movimiento. El segundo se corresponde con la inversión del flujo. El principio de Bernoulli establece que, en una línea de corriente, cuando la velocidad del fluido aumenta, la presión disminuye, y viceversa. En adición, el rozamiento provoca un retardo en el flujo con respecto a la superficie en las zonas de bajas presiones, llegando incluso a generar una inversión en el flujo, conocida como separación. Este fenómeno es responsable de la formación de regiones con presiones negativas, dando lugar a una fuerza en sentido contrario a la dirección del flujo, y en muchas ocasiones vórtices turbulentos que aumentan la resistencia aerodinámica. En términos generales, la resistencia debida a la separación suele superar a la de rozamiento.

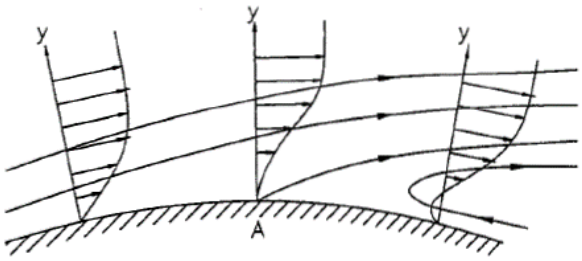

Figura 32 Separación del flujo [49]

  La formulación general de la resistencia aerodinámica sigue la siguiente forma, donde R_a es la resistencia aerodinámica, ρ la densidad del aire, C_x el coeficiente de resistencia aerodinámica (valor típicamente experimental), A_f el área frontal del vehículo, y v la velocidad.

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot v^2$$

- Otras resistencias

  Adicionalmente, los sistemas móviles presentan típicamente otras resistencias asociadas a fenómenos mecánicos y/o de inercia. Sin embargo, estas representan una contribución menor que las detalladas anteriormente, por lo que no se consideran en este estudio.

La potencia instantánea necesaria para que un vehículo pueda mantener un movimiento a velocidad constante puede expresarse como a la resistencia total al avance multiplicada por la velocidad, en un instante determinado.

$$P(t) = R_T(t) \cdot \frac{d}{dt} x(t)$$

De esta manera, la energía total consumida durante el movimiento puede estimarse como la integral de la potencia en un intervalo temporal determinado.

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t)\ dt$$

A partir de la energía anterior y del valor medio de emisiones por kWh, según la fuente de energía correspondiente, se puede conocer la huella de carbono del recorrido según sigue.

$$Emisiones\ CO_2 = W\ (kWh) \cdot \frac{Emisiones\ CO_2}{kWh}$$

Finalmente, se consideran dos escenarios en función de las fuentes de energía utilizadas por cada modo de transporte:

- Carretera

  Actualmente, la principal fuente de energía utilizada por vehículos pesados es el diésel. La cantidad de CO_2 emitido en la combustión depende de varios factores, incluyendo la propia composición del diésel. Sin embargo, se puede considerar que este se compone de moléculas de $C_{12}H_{26}$. De esta manera, la reacción de la combustión completa del diésel es la siguiente:

  $$C_{12}H_{26} + 18{,}5\ O_2 \rightarrow 12\,CO_2 + 13\ H_2O$$

  Según lo anterior, las emisiones de CO_2 por kg de diésel pueden estimarse de la siguiente manera:

  $$\frac{1\ kg\ diésel}{170\ g/mol\ diésel} \cdot\ 12 \frac{mol\ CO_2}{mol\ diésel} \cdot 44 \frac{g\ CO_2}{mol\ CO_2} = 3{,}106\ \frac{kg\ CO_2}{kg\ diésel}$$

  En adición, los fabricantes de automóviles proporcionan el consumo específico de combustible en g/kWh, generalmente, a través del cual se puede conocer el consumo total de combustible durante el trayecto.

- Ferrocarril

  El ferrocarril utiliza la energía eléctrica como fuente de alimentación principal. Para estimar el impacto de la circulación de trenes eléctricos, se toma como referencia el factor de emisión de generación de energía durante el año 2023

proporcionado por Red Eléctrica. Como se verifica en la figura siguiente, dicho factor toma un valor de 0,10 tCO_2 eq./MWh.

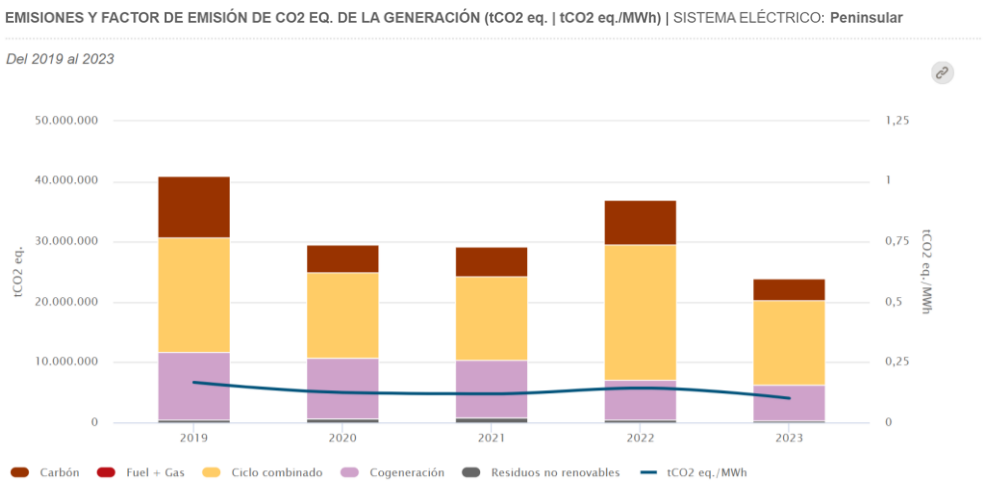

Figura 33 Evolución de emisiones de la generación de energía en España [50]

3.6.2. Caso de estudio

3.6.2.1. Itinerario

El criterio de selección se centra en, con ayuda de los mapas nacionales de flujos de mercancías, identificar una conexión que se realice actualmente tanto por carretera como por tren. Entre estas se encentran las conexiones entre Madrid-Valencia, Madrid-Barcelona, Madrid-Sevilla y Barcelona-Zaragoza. Satisfecha esta primera condición, debido a la mayor competitividad del ferrocarril en la media-larga distancia, se selecciona la conexión Barcelona-Madrid, la cual además forma parte del corredor del Mediterráneo. Sin embargo, el portal de datos de ADIF no proporciona todos los datos necesarios para aplicar la metodología de cálculo descrita anteriormente. Por ello, finalmente se opta por localizar el caso de estudio en Francia, ya que la SNCF Réseau sí proporciona todos los datos necesarios. En particular, se estudia la conexión entre las ciudades de Bordeaux y Marseille, un trazado completamente electrificado y de una longitud similar a la de Madrid-Barcelona. Cabe destacar que el estudio de esta conexión se realiza únicamente con el objetivo de obtener datos de un trayecto real, estando el resto de la definición del caso de estudio enmarcada dentro del contexto español.

Con respecto al origen de los datos utilizados, para la carretera se recurre a la API (Application Programming Interface) de Openrouteservice [51], y para el ferrocarril al portal de Open Data de la SNCF Réseau [52].

Finalmente, la figura siguiente muestra un mapa de ambos trazados. En rojo se representa el trazado de la carretera y en verde el ferroviario.

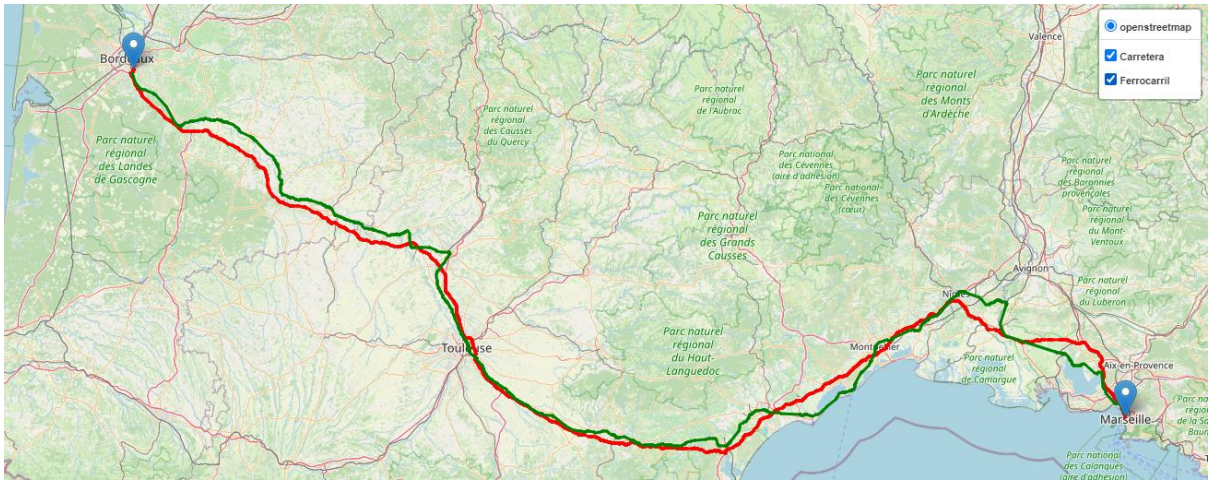

Figura 34 Comparación del trazado Bordeaux-Masrseille por carretera (rojo) y por ferrocarril (verde)

3.6.2.2. Carga

En este estudio se considera el transporte de contenedores intermodales, al ser estos aptos para el transporte tanto por carretera como por tren, siendo además los que cuentan con una mayor cuota dentro de la actividad nacional ferroviaria.

Respecto a los contenedores, en España los más utilizados por ambos modos son los de 20 y 40 pies, cuyas dimensiones exteriores en mm y masas máximas en kg se reagrupan en la siguiente tabla.

Contenedor	Longitud	Ancho	Altura	MMA	Tara	Carga máxima
20' (ISO 1C)	6.058	2.438	2.591	30.480	2.300	28.180
40' (ISO 1A)	12.192	2.438	2.591	30.480	3.800	26.680

Tabla 11 Dimensiones (mm) y masas (kg) de los contenedores más utilizados [53]

3.6.2.3. Material rodante

Para el transporte por carretera se contempla un tractor-semirremolque. Este tipo de vehículos articulados de 5 ejes o más, cuenta con una masa máxima autorizada de 40 toneladas, 16,50 metros de longitud máxima, y una velocidad máxima de 90 km/h en autopistas y autovías [54].

En particular, se toman como referencia las prestaciones de la cabeza tractora Actros 2045 LS/36 de Mercedes-Benz. Sus características se recogen en la siguiente tabla:

Fabricante	Modelo	P. Máx.	Consumo	Masa	Anchura	Altura	C_x
Mercedes-Benz	Actros 2045 LS/36	449 CV	181 g/kWh	8.218 kg	2.538 mm	4.123 mm	0.65

Tabla 12 Características principales del Mercedes-Benz Actros 2045 LS/36 [55]

Respecto al semirremolque portacontenedores, se toman como referencia las características técnicas del modelo PC Ideal de Guillen Group.

Fabricante	Modelo	MMA	TARA	Capacidad Máx.
Guillen Group	PC Ideal	41.000 kg	4.500 kg	Contenedor 45 pies (2,25 TEU)

Tabla 13 Características principales del Guillen Group PC Ideal [56]

Finalmente, al restar de la MMA legal en España tanto la masa de la cabeza tractora como las taras del semirremolque y de un contenedor vacío, se determina que la carga máxima transportable asciende a 24.982 kg.

En lo que respecta al ferrocarril, en España la mayoría de las líneas permiten una carga máxima de 22,5 toneladas por eje y 8 por metro lineal. Con respecto a la longitud máxima de los trenes, esta varia para cada línea, debiéndose consultar para cada caso particular. Para el caso inicial Madrid-Barcelona, se verifican las cargas máximas anteriores y que el tramo más restrictivo permite la circulación de trenes de mercancías de hasta 450 m [44]. Finalmente, se comprueba que el trazado entre Bordeaux y Marseille permite la circulación de trenes de mercancías de la carga y longitud determinadas.

En cuanto al material rodante, se selecciona una locomotora eléctrica de la S-253 de RENFE Mercancías, que se corresponde con el modelo Traxx de Bombardier. Cabe destacar que estas unidades no son compatibles con la infraestructura francesa, debido a la distinta tensión de alimentación y ancho de vía. Pese a ello, estas incompatibilidades no impiden la simulación al no participar en la misma, siendo las características de relevancia recogidas en la siguiente tabla.

Serie	S-253 RENFE
Fabricante	Bombardier
Modelo	TRAXX2E F140DC
Configuración	Bo'Bo'
Freno regenerativo	Sí
Velocidad máxima	140 km/h
Potencia máxima	5.400 kW
Masa total	87 t
Anchura total	2.997 mm
Altura total	4.270 mm
Longitud total	10.390 mm
Cx	$0.7051 + 0.0915 \cdot N$

Tabla 14 Características principales de la S-253 de RENFE [57] [58]

A continuación, se presenta la flota de vagones portacontenedores de RENFE Mercancías, con el objetivo de seleccionar aquellos que mayor carga pueden transportar y contar así con sus características para completar la formación del tren.

Vagón	Capacidad [TEU]	Carga máxima [t]	TARA [t]	Peso por eje [t]	Longitud entre topes [m]	Velocidad máx. [km/h]
MCE	2	28,8	11,2	20	13,86	100
MMC1	3	61	19	20	19,90	100
MC3	2	33	12	22,5	13,86	120
MMC3	3	60	20	20	19,90	120
MC4E	2	32,2	12,8	22,5	15,08	120
MMC3E	3	70,3	19,7	22,5	19,74	100
MCI	2	33	12	22,5	13,86	120
MMMC1	4	93	27	20	27,10	120

Tabla 15 Parque de vagones portacontenedores RENFE Mercancías [59]

Se verifica que el vagón que permite el transporte de una mayor carga lineal, y por tanto un mayor aprovechamiento, es vagón MMC3E.

Por último, de la misma manera que para la carretera, se define la carga máxima transportable. Restando la longitud de locomotora a la longitud máxima del tren, se establece que el tren puede componerse por dicha locomotora y 21 vagones MMC3E sin sobrepasar ninguna limitación. Cada vagón tiene una capacidad de 3 TEUs, pudiendo transportar un contenedor de 40 pies y otro de 20 pies cada uno. Las taras combinadas de ambos contenedores ascienden a 6,1 toneladas, dejando, por tanto, margen para el transporte de 64,2 toneladas netas de mercancías por vagón y 1.348 en todo el tren.

3.6.3. Análisis de sensibilidad

Hasta el momento, se ha considerado un escenario ideal en el cual ambos modos de transporte utilizan toda su capacidad de carga disponible. Con el objetivo de evaluar las variaciones de los resultados en situaciones más realistas, donde la carga no se ajuste rigurosamente a la MMA correspondiente, se introduce el concepto de aprovechamiento, definido como la proporción entre la carga transportada con respecto y la carga máxima transportable.

En consecuencia, se incorpora un análisis de sensibilidad simulando la evolución del impacto medioambiental en función de distintos niveles de aprovechamiento, obteniendo así una visión más completa bajo diversos escenarios.

4. Resultados

4.1. Transporte de mercancías en España

A continuación, se desglosa la actividad del sector del transporte de mercancías durante el año 2021 en España. Cabe destacar el interés de estudiar las toneladas transportadas frente a la métrica tkm, ya que, al presentar cada modo de transporte una competitividad distinta en función de la distancia recorrida, se facilita la comparación de la actividad entre los distintos modos.

Millones de toneladas	Nacional	Internacional	**Total**
Carretera	1541	119	1660
Ferroviario	20	4,8	24,8
Aéreo	0,06	0,89	0,95
Marítimo	48	449	497
Total	1609	573	2183

Tabla 16 Transporte de mercancías en España por ámbito y modo (t), 2021 [2]

Cuota de actividad	Nacional	Internacional	**Total**
Carretera	70,60 %	5,45 %	76,05 %
Ferroviario	0,92 %	0,22 %	1,14 %
Aéreo	0,00 %	0,04 %	0,04 %
Marítimo	2,20 %	20,57 %	22,77 %
Total	73,72 %	26,28 %	100 %

Tabla 17 Transporte de mercancías en España por ámbito y modo (%), 2021 [2]

En primer lugar, se evidencia una clara dominancia de la carretera, con una cuota del 76,05%, correspondiéndose el 70,60% con el transporte nacional. Estas cifras revelan la idoneidad de la carretera para el transporte de corta y media distancia, lo cual también puede comprobarse en el mapa que representa los principales flujos interregionales.

En segundo lugar, se encuentra el transporte marítimo con una cuota del 22,77%. Este presenta la situación opuesta a la carretera, ya que el transporte internacional abarca el 20,57% de la actividad total, indicando la alta competitividad de este modo para el transporte internacional de larga distancia.

En tercer lugar, se encuentra el ferrocarril, con una cuota del 1,14%, abarcando el transporte nacional el 0,92%. En cuanto a su actividad, el tipo de vagón que, en promedio, recorre mayor distancia es el vagón intermodal nacional, lo que, junto a una cuota intermodal del 51%, indica la alta competitividad del ferrocarril para esta unidad de carga. En cuanto a los flujos principales, se destacan las relaciones Barcelona-Zaragoza, Asturias-Valencia y Madrid-Valencia.

Finalmente, se encuentra el transporte aéreo, que representa únicamente el 0,04% de la actividad total, siendo la cuota del tráfico nacional prácticamente despreciable. Esto se debe principalmente a sus altos costes, lo que posiciona a este modo de transporte en un segundo plano en lo que respecta al transporte de mercancías.

Respecto al ferrocarril, el modo de transporte objeto de este estudio, se observa una cuota modal muy reducida. Resulta de especial interés resaltar que, a pesar de que el puerto de la Bahía de Algeciras es el que mayor actividad acoge en España, y que además registra un importante tráfico de contenedores, este no aparezca en el mapa de los principales flujos ferroviarios. Igualmente, cabe destacar la baja cuota del transporte ferroviario internacional de mercancías, altamente competitivo en el transporte de media y larga distancia, a priori. Sin embargo, pese a la posición estratégica de España en Europa de cara al transporte marítimo al conectar el Mar Mediterráneo (que acoge a los grandes portacontenedores que atraviesan el Canal de Suez) con el océano Atlántico (atravesado por rutas comerciales con África, América y otros países europeos), la actividad internacional resulta significativamente reducida, pudiendo convertirse los puertos españoles en importantes *hubs* a nivel europeo a través de cadenas intermodales marítimo-ferroviarias.

4.2. Partes interesadas

Para identificar, organizar y sintetizar las influencias entre las diferentes partes interesadas del sector, se ha realizado una matriz de influencias. El objetivo de esta matriz es recopilar todas las influencias observadas en el mercado francés, que ha sido seleccionado como caso de estudio debido a que las directrices europeas comunes conducen a situaciones similares en el resto de países miembros. Además, en Francia se encuentra la figura de los operadores ferroviarios de proximidad, la cual no está presente en todos los países estudiados.

Esta herramienta permite realizar un análisis exhaustivo de las influencias y los desafíos de cada parte interesada, facilitando así la identificación de puntos débiles o de comunicación deficiente no considerados en las estrategias de desarrollo.

Con el fin de sintetizar y facilitar la presentación de la información recopilada en la matriz, se ha desarrollado el siguiente diagrama:

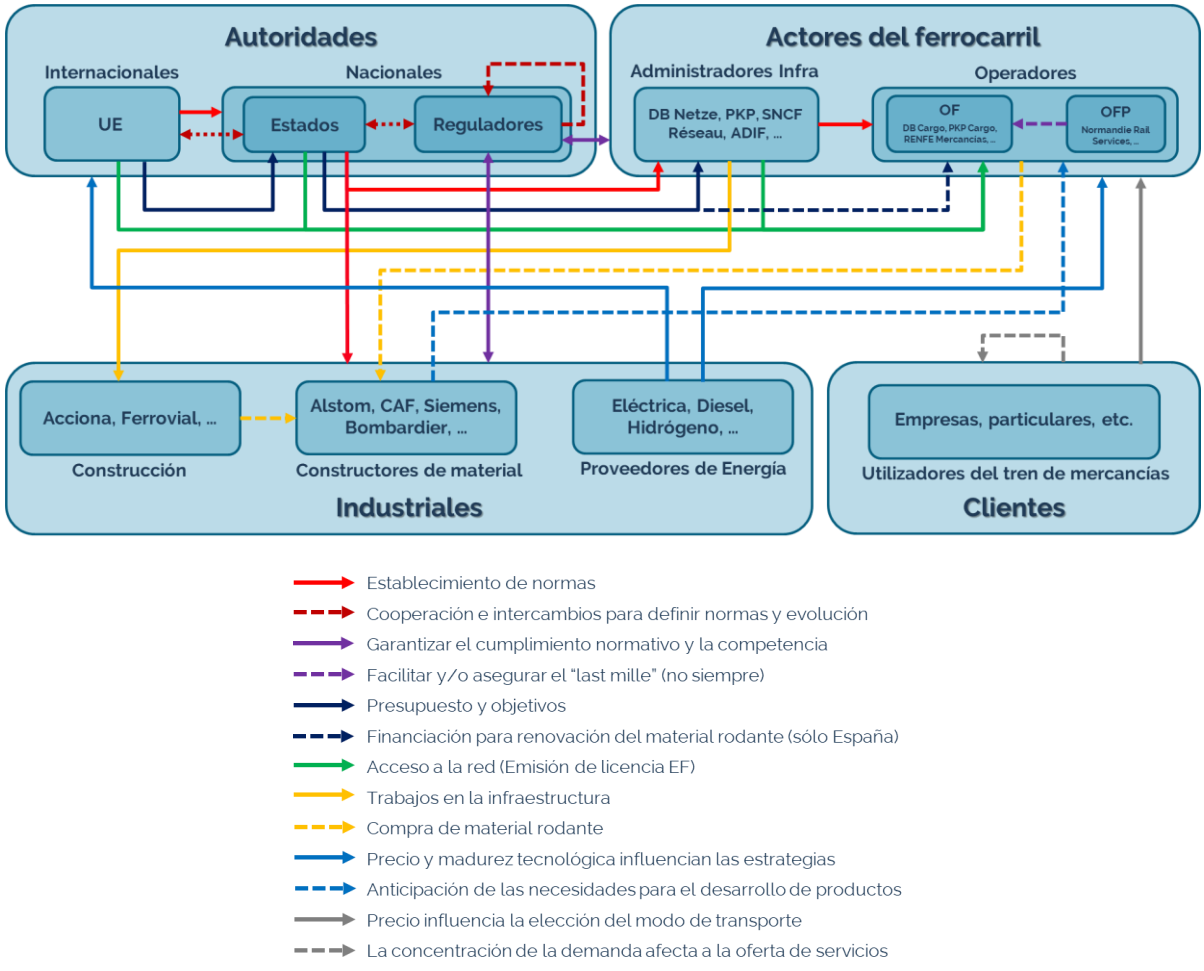

Figura 35 Diagrama de influencias de las partes interesadas

Todas las influencias recogidas son fruto de un profundo análisis legislativo y normativo, así como de distintas entrevistas con representantes de distintas partes interesadas. Durante estas reuniones se ha tenido la oportunidad de entrevistar a trabajadores del departamento de innovación de Alstom, a responsables de relaciones políticas y consejería territorial de la SNCF Réseau en la región de Île de France o al presidente de Normandie Rail Services, entre otros.

En lo que respecta al diagrama, se evidencia la complejidad y diversidad de influencias entre las diferentes partes interesadas. En primer lugar, las decisiones políticas determinan las estrategias de desarrollo del sector ferroviario. Decisiones como la preferencia por el transporte de pasajeros, en detrimento de otros servicios debido a un presupuesto limitado, condicionan el marco legislativo y, por lo tanto, la forma en que los administradores de la infraestructura organizan el tráfico ferroviario. Por otra parte, el mayor desarrollo de una parte en particular del ferrocarril influye en la oferta de los fabricantes de material rodante y de las empresas de construcción (como puede ser una especialización en trenes e infraestructura de alta velocidad, respectivamente). El precio de la energía, además de influir en la elección del modo de transporte debido a los costos variables, afecta a las estrategias de desarrollo nacionales según la madurez tecnológica y la viabilidad tecno-económica de las diferentes tecnologías de obtención de energía. Finalmente, otros factores externos al ferrocarril, como la planificación territorial y la industria, condicionan la masificación de la carga, lo que influye en la competitividad de la formación de trenes completos.

En definitiva, cabe destacar la complejidad y diversidad de influencias. Todas las partes interesadas, cuentan con “flechas entrantes y salientes”, lo que da lugar a un ciclo cerrado, sin que ninguna parte interesada se encuentre en una posición clara para tomar decisiones unilaterales.

4.3. Factores de influencia

Es crucial comprender que cualquier modo de transporte, tanto de viajeros como de mercancías responde a una demanda. Por lo tanto, es necesario conocer el origen y la naturaleza de esta demanda, así como identificar y analizar los distintos factores que la influencian para poder analizar la pertinencia y el atractivo de cada modo de transporte. En cuanto al transporte ferroviario de mercancías, estos factores pueden dividirse en internos y externos.

4.3.1. Factores internos

Entre los factores inherentes al ferrocarril que influencian el transporte de mercancías encontramos:

- Coste del transporte

  El factor principal que rige el sector del transporte, especialmente el de mercancías, son los costes del servicio. Dado que este último no es utilizado directamente por el usuario final, a diferencia del transporte de viajeros, estos no perciben los valores añadidos del ferrocarril, tales como un mejor impacto medioambiental o una mayor eficiencia energética. Factores como los altos costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura, el coste de acceso a la red, la tendencia fuertemente alcista el precio de la energía actual y las altas barreras de acceso debidas al elevado costo del material rodante ferroviario influyen en el coste final del servicio.

  A priori, podría pensarse que igualar los costes con otros modos de transporte sería posible a través de un aumento de la presión fiscal sobre los modos más contaminantes o la aplicación de impuestos medioambientales. No obstante, esta medida ya se intentó implementar en algunos países, como en Francia con los "Écotaxes" en 2013. Sin embargo, esta medida no tuvo éxito, ya que terminó encareciendo el transporte y, por lo tanto, afectando al bolsillo de la población en general. Esta repercusión negativa generó una fuerte oposición por parte de la población y, como resultado, el proyecto fue finalmente abandonado.

  Además, de media, se tiene que la vida media del material rodante ferroviario es de 40 años, frente a los 15 de un camión. Esto produce que, de media, el parque ferroviario sea más antiguo, y por tanto menos eficiente, generalmente, lo que afecta finalmente a la competitividad económica entre ambos. Además,

en este ámbito influye igualmente el superior coste del material rodante ferroviario, lo que de cierta manera puede llegar a entorpecer su renovación, así que su amortización frente a una débil utilización.

- Infraestructura

  La infraestructura ferroviaria puede presentar ciertas limitaciones que entorpecen el transporte de mercancías. Actualmente, la barrera principal se relaciona con la prioridad por el transporte de viajeros, que hace en ocasiones incompatible la convivencia de ambos ante la imposibilidad de que los trenes de viajeros puedan adelantar a los trenes de mercancías, al circular estos últimos a una velocidad más reducida, generalmente. Es por ello por lo que la adaptación de apartaderos para acoger trenes de 740 metros cobra una alta importancia.

  La débil digitalización de tareas como la gestión del tráfico o la clasificación de vagones en las playas de maniobras, realizadas actualmente por personas, hacen que estos pierdan en seguridad y eficiencia, afectando por tanto a su competitividad.

  Una red altamente mallada, como puede ser la alemana frente a la española, ofrece más posibilidades a la hora de definir itinerarios y de prestar servicio en distintos territorios.

  Es también importante destacar la importancia de la electrificación de la red. Una electrificación completa permitiría circular con locomotoras eléctricas en todo momento. Sin embargo, el alto coste de electrificación hace que en numerosas líneas con una actividad reducida la inversión no esté justificada, haciendo necesaria la participación de locomotoras diésel o duales. Esto implica en ocasiones un cambio de locomotora, lo que afecta al tiempo y coste final del servicio.

  Por último, desde la perspectiva de la interoperabilidad de las distintas infraestructuras europeas, la estandarización de los sistemas de electrificación, señalización y comunicación, especialmente a través de la implementación del ERTMS, desempeña un papel fundamental en el desarrollo del transporte internacional.

- Prestaciones

  Los cargadores que desean transportar sus mercancías por tren deben anunciar los itinerarios a realizar con 6 meses de antelación. Esto representa un

problema para muchos actores del mercado, ya que limita la flexibilidad del transporte ante imprevistos.

Por otro lado, en muchas ocasiones, el transporte ferroviario requiere el uso de la carretera para completar el servicio. Sea el ejemplo una cooperativa de agricultores que desea enviar naranjas desde Valencia a Madrid en tren. Para lograrlo, se hace necesario llevar las naranjas desde el campo hasta la estación de tren más cercana y, una vez en Madrid, transportarlas en camiones hasta los supermercados. En ambas etapas se requiere el uso de vehículos, y cuando se trata de trayectos como el mencionado, que pueden completarse en tan solo 4 horas por carretera, el tren no resulta competitivo debido a la complejidad de llevar a cabo todas las operaciones intermedias, en comparación con la comodidad de un envío puerta a puerta directamente con un camión.

4.3.2. Factores externos

- Organización del territorio

  La distribución de la población en un territorio es un factor crucial para la competitividad del sector. En la actualidad, el transporte de mercancías resulta altamente competitivo cuando un solo cargador forma un tren completo, evitando así las operaciones de ruptura de carga e identificación de vagones. Dado que un tren completo puede transportar la misma carga que 25 camiones, la concentración tanto de la oferta como de la demanda es realmente importante. No obstante, si cada punto geográfico desempeña un único papel, el tren circulará la mitad del tiempo vacío, es decir, solo transportará mercancías desde el punto A al punto B, regresando vacío del punto B al punto A sin generar beneficios económicos. Es por lo anterior que el tren de mercancías es altamente competitivo entre dos puntos capaces de jugar el papel de oferta y demanda al mismo tiempo.

  En línea con lo anterior, la concentración de la demanda depende altamente del tamaño y la concentración de la industria. Cuando se tiene un complejo industrial suficientemente importante, un único cargador puede llegar a formar un tren completo. Sin embargo, en el caso la existencia de industrias de menor tamaño, pero altamente concentradas, se facilitaría la formación de un tren completo combinando las mercancías de todos los cargadores interesados. Desarrollando la idea anterior, una implantación de la industria a lo largo de un eje ferroviario también podría incentivar la formación de trenes completos,

de manera que cada cargador pudiese añadir sus vagones a una locomotora que realizase la totalidad del trayecto.

Finalmente, cabe destacar el papel de la planificación territorial, que puede considerarse tanto como una causa como una consecuencia de la industria. La disponibilidad de recursos naturales o mano de obra en una región puede condicionar la planificación territorial y su desarrollo. Por ejemplo, una región rica en materias primas puede dar lugar a una concentración industrial, y es a través de los planes de planificación territorial que se debe garantizar la infraestructura necesaria. Sin embargo, también puede darse el caso contrario, donde la planificación territorial puede influir en el desarrollo de la industria. Por ejemplo, una región bien conectada y con buenas infraestructuras de comunicación puede atraer a la industria a esa región.

- Política

  La infraestructura ferroviaria está administrada por un organismo nacional, sin embargo, la delegación de competencias que encontramos en algunos países como España otorga a cada subdivisión del territorio cierta libertad legislativa. Esta característica favorece la competencia interna en el seno de un mismo país por atraer, entre otros, a la industria, lo que, al final, impide su concentración ante la ausencia de un plan nacional desde un punto de vista más amplio, siendo al respecto de particular interés las competencias de planificación territorial.

  Desde un punto de vista más cercano al ferrocarril, las estrategias nacionales, en particular la priorización del transporte de pasajeros, impulsan a que los administradores programen las actividades sobre la infraestructura durante la noche, lo que afecta al tráfico de mercancías principalmente. Además, las decisiones políticas influyen en la distribución del presupuesto destinado al ferrocarril, que, al ser limitado, puede utilizarse de múltiples formas.

- Geografía y topografía

  La ubicación geográfica de un país tiene un impacto significativo en las potenciales relaciones comerciales con sus países vecinos. Un ejemplo de esto es Alemania, situada en el centro de Europa. Esta ubicación estratégica hace que sea interesante que el país cuente con grandes puertos marítimos para permitir que los mayores portacontenedores internacionales descarguen allí sus mercancías, y una vez descargadas, se distribuyan a los distintos países a través de la red ferroviaria.

De manera similar, una topografía escarpada, como la que se encuentra en el norte de España, aumenta los costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura, especialmente en caso de existencia de numerosos viaductos, túneles, etc.

- Competencia

  El transporte de mercancías es un sector altamente competitivo, ya que no solo existe una competencia entre los distintos operadores, sino también entre diversos modos de transporte, cada uno presentando diferentes ventajas e inconvenientes. Sin embargo, cuando no se cumplen ciertas condiciones previamente mencionadas, como la concentración de la oferta y la demanda, o cuando las distancias a recorrer son relativamente cortas, la carretera se convierte en el modo de transporte que mejor se adapta a las necesidades de la mayor parte de los cargadores, especialmente de aquellos de menor tamaño.

- Necesidades de los cargadores

  Finalmente, para identificar los puntos críticos y los verdaderos puntos de mejora, es imprescindible comprender por qué los cargadores eligen un modo de transporte u otro. Como se ha detallado en los puntos anteriores, el coste del transporte destaca por encima del resto. En segundo lugar, aparecen criterios como la reducida flexibilidad, la dificultad de ofrecer un servicio puerta a puerta o las decisiones políticas, un conjunto de características que finalmente hacen que el tren sea competitivo bajo ciertas circunstancias muy específicas

4.4. Estrategias y desarrollo

El objetivo principal de los países analizados es similar: aumentar la cuota modal del transporte ferroviario de mercancías para el año 2030. Para alcanzar este objetivo, cada país ha elaborado su propia estrategia de desarrollo, las cuales incluyen una serie de medidas similares, las cuales pueden reagruparse según los siguientes puntos:

- Modernización de la red ferroviaria

  Todos los países consideran la necesidad de adaptar la red para permitir la circulación de trenes de mercancías de 740 metros (estándar UIC) con el fin de permitir la convivencia entre el tráfico de pasajeros y de mercancías, y aumentar así la capacidad de la red. Además, la homogenización de los sistemas de electrificación, señalización y comunicación, en particular la implementación del ERTMS, también se considera importante de cara a promover la interoperabilidad y el desarrollo de los corredores ferroviarios.

- Digitalización y automatización

  La digitalización del sector facilitaría la recopilación y transmisión de información en tiempo real, simplificando el intercambio de información entre las diferentes partes interesadas. Además, la automatización de procesos como la supervisión o el clasificado haría que el transporte ferroviario fuese más transparente, confiable y competitivo.

- Segmentos de mercado

  Europa busca transferir parte del transporte por carretera al ferrocarril. Para lograr este objetivo, todas las estrategias consideran el transporte intermodal marítimo-ferroviario como el eje clave de desarrollo, requiriendo esto una importante inversión para mejorar el rendimiento de las terminales de mercancías. Además, se considera que el transporte de vagones aislados (transporte de un solo vagón o de unos pocos vagones que, junto con las mercancías de otros cargadores, permiten la formación de trenes completos en las playas de maniobra) también debe ganar importancia, asegurando la trazabilidad del envío.

- Políticas

  Actualmente, el modo de transporte más utilizado es el transporte por carretera, principalmente por razones de flexibilidad y costes. Para que el transporte ferroviario sea más competitivo, las estrategias consideran necesario revisar políticas como la presión fiscal, las tarifas de acceso a la red o la preferencia innegable por el transporte de pasajeros.

- Medio ambiente

  Las principales ventajas del transporte ferroviario de mercancías son su bajo impacto ambiental y su eficiencia energética en comparación con el transporte por carretera. El potencial traslado de actividades de transporte de mercancías al ferrocarril es, por lo tanto, el argumento principal a favor de la descarbonización del transporte. Sin embargo, todos los países estudiados, excepto Polonia, consideran importante también avanzar en la descarbonización del material rodante. Se considera la búsqueda de soluciones innovadoras, como el uso de gas natural, hidrógeno, baterías eléctricas o tecnologías de hibridación, si bien el presupuesto asociado es menor que el de las medidas anteriores.

En conclusión, las medidas destinadas a desarrollar el sector se concentran en la infraestructura y la digitalización, principalmente, que recibirán la mayor parte de los presupuestos en los próximos años. En cuanto al aspecto medioambiental, el ferrocarril busca contribuir a la descarbonización del transporte de mercancías absorbiendo parte de las actividades actualmente realizadas por carretera.

4.5. Actividad ferroviaria

Según los mercados estudiados, se desprende una tendencia general: en todos ellos la mayor parte de la actividad transcurre a lo largo de los corredores ferroviarios de mercancías europeos, es decir, por rutas comerciales estratégicamente definidas.

Por otro lado, los operadores nacionales están perdiendo importancia en frente a los operadores emergentes debido a la liberalización y a la apertura obligatoria a la competencia del transporte ferroviario de mercancías en Europa. Varios operadores nacionales han aprovechado dicha liberalización para establecer filiales en el extranjero para expandir su alcance geográfico, como es el caso de Fret SNCF o DB Cargo.

No obstante, también se observa la presencia de operadores ferroviarios independientes o de filiales pertenecientes a grandes empresas de transporte o energía. Estos actores buscan completar sus servicios incluyendo varios modos de transporte en el caso de las grandes empresas de transporte, o reducir los costes de transporte al poseer sus propias filiales ferroviarias en el caso de las grandes empresas de energía. Sin embargo, resulta evidente señalar que las actividades de estos operadores siguen siendo significativamente menos importantes que las de los grandes operadores nacionales y sus filiales.

En conclusión, en lo que respecta a la actividad en términos de tkm, se tiene que durante los últimos años no ha habido un aumento significativo en la actividad ni en Europa ni en ninguno de los países analizados; de hecho, esta ha permanecido relativamente constante. El único efecto de la liberalización del sector ha sido conducir hacia la situación descrita, en la cual los operadores nacionales pierden cuota de mercado a favor de los operadores emergentes, si bien la actividad no ha aumentado como se esperaba.

4.6. Infraestructura

Con el objetivo de comprar las redes ferroviarias de los diferentes países estudiados, los cuales presentan diferencias en diversas características como la población o la superficie, se presenta la siguiente tabla, la cual contiene varias métricas destinadas a facilitar la comparación:

Métrica	Alemania	Polonia	Francia	España
Población [M.hab]	83,2	37,75	67,75	47,42
Superficie país [km²]	357.588	322.575	551.695	505.990
Densidad de población [hab/km²]	232,67	117,03	122,80	93,72
Longitud total líneas [km]	39.261	18.664	27.700	15.615
Densidad de la red [km/M.hab]	471,89	494,41	408,86	329,29
Densidad de la red [m/km²]	109,79	57,86	50,21	30,86
Actividad en 2022 [Md.tkm]	124,55	62,50	35,71	10,53
Densidad de actividad [tkm/hab]	1497,03	1655,60	527,13	222,00
Densidad de actividad [tkm/km²]	348.313	193.750	64.734	20.805
Densidad de actividad [M.tkm/km]	3,17	3,35	1,29	0,67
Líneas electrificadas [km]	21.131	11.955	16.000	10 234
Líneas electrificadas (% del total)	53,80 %	64,05 %	57,76 %	65,54 %
Líneas de alta velocidad [km]	1.104	392	2.715	3.306
Alta velocidad (% líneas)	2,81 %	2,10 %	9,80 %	21,17 %

Tabla 18 Comparación de las redes ferroviarias europeas

Ya al observar los mapas de cada red, se puede intuir que Alemania cuenta con una red ferroviaria mucho más densa y mallada, lo que se confirma con la métrica de la densidad de la red por superficie del país.

Según la tabla anterior, también se observa también que la densidad de la red ferroviaria por superficie y la actividad del transporte de carga ferroviaria evolucionan de manera similar. En otras palabras, Alemania posee a la vez la mayor densidad y actividad, mientras que España cuenta con la densidad y actividad más baja, una tendencia que también verifican Polonia y Francia.

Además, se tiene que la densidad de la red ferroviaria por superficie y el porcentaje de líneas de alta velocidad siguen una evolución opuesta. Por un lado, Alemania tiene una densidad de 109,79 m/km² y solo un 2,81% de líneas de alta velocidad, mientras que, en España, la densidad es de 30,86 m/km² y un 21,17% de líneas de alta velocidad. Esta tendencia es, de nuevo, seguida por Polonia y Francia.

Estas tendencias, en resumidas cuentas, reflejan los resultados de diferentes evoluciones, las cuales han respondido a las necesidades históricas de cada país, así como a la forma en que se gestionan los presupuestos destinados al ferrocarril. Por un lado, se

tiene la situación alemana, que cuenta con una densa infraestructura y una alta importancia de la industria, mientras que en España se encuentra una alta relevancia de la alta velocidad, cuya infraestructura es más costosa, y una débil industrialización.

4.7. Matriz de indicadores

A continuación, se presenta el análisis de la estrategia nacional de desarrollo *Mercancías 30*, desde el punto de vista del objetivo establecido de alcanzar una cuota modal del 10% para el año 2030. Para ello, se recurre a una matriz de indicadores, la cual permite clasificar cada medida contenida en el plan según su prioridad de cara a alcanzar el objetivo, viabilidad técnica y escala temporal de implementación.

Bloque	Medida	Descripción	Observaciones
Infraestructuras	I1	Ampliación de vías de apartado para permitir la circulación de trenes de mercancías de 740 m	Interesante en corredores de alta demanda. Trenes de 740 ofrecen un menor consumo por tonelada transportada
	I2	Actuaciones en instalaciones de seguridad y señalización	Aumenta la certidumbre y facilita la gestión
	I3	Actuaciones de electrificación	Alto rendimiento de la tracción eléctrica. Potencial reducción de la tracción diésel o tecnologías de hibridación
	I4	Actuaciones de adecuación de gálibos	La adecuación de gálibos permite acoger nuevos tipos de tráfico, especialmente autopistas ferroviarias
	I5	Actuaciones en redes arteriales de mercancías en grandes ciudades	Un aumento de la capacidad a través de la ampliación de la infraestructura resuelve conflictos entre viajeros y mercancías en el entorno de grandes ciudades. Sin embargo, dichos conflictos también podrían mitigarse con una revisión de la innegociable prioridad por el transporte de viajeros
	I6	Otras actuaciones en la infraestructura lineal ferroviaria	"Definición, programación y ejecución de actuaciones como la rehabilitación, renovación o mejora de líneas". No detalladas
Gestión de capacidad	GC1	Mejora de la gestión de la capacidad	La identificación de cuellos de botella (mapa de capacidad disponible y utilizada) permitiría optimizar el tráfico y establecer prioridad para tráficos de mercancías específicos
	GC2	Definición de sistema de ayudas por restricciones temporales de capacidad	Aporta confianza sobre el ferrocarril a través de compensaciones económicas
	GC3	Mejora de la coordinación en el acceso y expedición de tráficos con los puertos	Medida destinada a facilitar la transmisión de información y coordinar las operaciones entre los distintos gestores de la infraestructura (ADIF y puertos, principalmente)
Terminales	T1	Conexiones ferroviarias con los puertos	Los puertos son origen o destino del 50% del tráfico ferroviario, por lo que su modernización y creación de convenios y nuevos accesos es crucial
	T2	Actuaciones en terminales intermodales y logísticas estratégicas	Fuerte influencia de la oferta y demanda. Por ello, el impacto de una modernización integral puede verse mermado ante una falta de implicación entre todas las partes interesadas
	T3	Actuaciones en otras terminales intermodales principales	Necesidad de un estudio tecno-económico de cada terminal y de potenciales conexiones que justifiquen la inversión
	T4	Modelos de gestión de terminales	Adapta la gestión a las necesidades de cada terminal. Sin embargo, de cara a simplificar la gestión y favorecer la interoperabilidad, se debería considera un modelo de gestión flexible y estandarizado, algo no considerado en la medida
	T5	Distribución urbana de mercancías (DUM)	La conexión de la red ferroviaria con centros de distribución de grandes núcleos poblacionales que permitan la ruptura de la carga podría fomentar el transporte ferroviario, si bien no elimina la necesidad del último tramo por carretera.

Autopistas	AF1	Definición y puesta a disposición de corredores prioritarios para servicios de AF	Las AFs serán utilizadas si son competitivas en términos de costes y tiempo frente al transporte por carretera.
	AF2	Creación de una oficina de apoyo y asesoramiento para la puesta en marcha de servicios de AF	Puede atraer nuevos usuarios
Digitalización	D1	Digitalización y optimización en procesos de planificación y gestión de capacidad de infraestructura ferroviaria	La estandarización de procesos favorece la interoperabilidad de la red
	D2	Digitalización y optimización en procesos de circulación ferroviaria	Objetivo de facilitar la transmisión de información relativa del estado y composición de los trenes entre administradores de la infraestructura y operadores.
	D3	Digitalización y optimización en procesos logísticos y de transporte intermodal	Coordinar la transmisión de información entre distintos modos de transporte.
Ayudas	AY1	ERTMS embarcado	Favorece la interoperabilidad europea a corto plazo
	AY2	Ayudas para la compra y renovación de vagones, incluidos sistemas de reducción de ruido, ejes de ancho variable y Autopistas Ferroviarias	Moderniza el parque ferroviario a corto plazo, incrementando así su competitividad e interoperabilidad
	AY3	Ayudas para la compra y renovación de locomotoras, incluida adaptación a varias tensiones, eje variable y energías alternativas	
	AY4	Construcción, adaptación o mejora de terminales de carga privados y sus conexiones a la red ferroviaria	Colaboración público-privada (40-60 %) para conectar las instalaciones de importante actividad con la red ferroviaria
	AY5	Eco-incentivos (mérito ambiental)	Medida que fomenta temporalmente el uso del transporte ferroviario debido a su mejor impacto medioambiental
	AY6	Ayudas para la implantación de tecnologías para la identificación y localización de material rodante y UTI (Digitalización)	La trazabilidad y el seguimiento del envío pueden atraer a nuevos usuarios
	AY7	Ayudas para la adaptación al sistema "SIMPLE" de sistemas e interfaces de comunicación empresariales y desarrollo de nuevas funcionalidades (Digitalización)	Incentivos económicos para la adopción
	AY8	Ayudas para la digitalización y optimización de procesos en nodos ferroviarios (Digitalización)	Incentivos económicos para la adopción
	AY9	Ayudas para sufragar los cánones por la utilización de las líneas de la RFIG	Medida temporal para reducir artificialmente el coste del transporte ferroviario de mercancías
	AY10	Ayudas por restricciones temporales de capacidad	Aporta seguridad y confianza al ferrocarril

Tabla 19 Matriz de indicadores I

Bloque	**Medida**	**Periodo**	**Presupuesto**	**Presupuesto anual**	**Presupuesto bloque**	**Prioridad**	**Viabilidad tecnológica**	**Escala temporal**	**Puntuación**
Infraestructuras	I1	2021-2030	404,6	40,46	5.068	Media	Media	Alta	2
	I2	2021-2030	750,4	75,04		Media	Alta	Alta	3
	I3	2021-2030	823	82,3		Media	Alta	Alta	3
	I4	2021-2030	Incluido en I3 y AF1	-		Media	Media	Alta	2
	I5	2021-2030	1682,6	168,26		Media	Media	Alta	2
	I6	2021-2030	1407,4	140,74		-	-	-	0
Gestión de capacidad	GC1	2021-2022	0,1	0,1	0,2	Alta	Media	Media	4
	GC2	2021-2022	Incluido en AY10	-		Alta	Alta	Baja	6
	GC3	2021-2022	0,1	0,1		Alta	Media	Media	4

Terminales	T1	2021-2030	1.600	160	2.070	Alta	Media	Alta	3
	T2	2021-2030	360	36		Alta	Media	Alta	3
	T3	2021-2030	110	11		Media	Media	Alta	2
	T4	2021-2030	-	-		Media	Media	Media	3
	T5	2021-2030	Incluido en T2 y T3	-		Alta	Media	Alta	3
Autopistas Ferroviarias	AF1	2021-2030	384,2	384,2	384,3	Alta	Media	Media	4
	AF2	1º Trimestre de 2022	0.1	0,1		Media	Alta	Baja	5
Digitalización	D1	2021-2023	12,8	4,27	16,9	Alta	Media	Media	4
	D2	2021-2023	0.1	0,03		Alta	Media	Media	4
	D3	2021-2023	4	1,33		Alta	Media	Media	4
Ayudas	AY1	2021-2024	12	4	903	Media	Alta	Baja	5
	AY2	2021-2024	61	20,33		Media	Alta	Baja	5
	AY3	2021-2024	97	32,33		Media	Alta	Baja	5
	AY4	2022-2024	75	25		Baja	Media	Alta	1
	AY5	2022-2024	60	20		Baja	Alta	Baja	4
	AY6	2021-2024	7,93	2,64		Alta	Media	Media	4
	AY7	2021-2024	7,93	2,64		Media	Alta	Media	4
	AY8	2021-2024	7,93	2,64		Media	Alta	Media	4
	AY9	2021-2025	566,2	188,73		Alta	Alta	Baja	6
	AY10	2022-2024	8	2,67		Media	Alta	Baja	5

Tabla 20 Matriz de indicadores II

Con el fin de clasificar las medidas, se ha añadido una columna de puntuación. Esta se asigna en función de los valores de prioridad, viabilidad tecnológica y escala temporal. De esta manera, una prioridad alta, una viabilidad técnica alta y una escala temporal baja otorgan cada una dos puntos, mientras que se otorga un punto cuando todas las anteriores son medias.

En lo que respecta a la estrategia en sí misma, se verifica la coherencia de las medidas recogidas con las distintas estrategias estudiadas. El total de la inversión prevista para las 29 medidas asciende a 8.442,4 millones de euros, estando la mayor parte destinada a medidas sobre la infraestructura y terminales, alcanzando los 7.138 millones de euros (84% del total). Seguidamente, 903 millones (11%) se atribuyen a ayudas, 384,3 (5%) al desarrollo de las autopistas ferroviarias, 16,9 a la digitalización del sector y 0,2 millones a la gestión de la capacidad.

Cabe recordar que esta estrategia cuenta únicamente con un período de 7 años para alcanzar el objetivo del 10% de cuota modal. Esto representa un intervalo temporal considerablemente corto, especialmente para que las medidas relativas a la construcción y modernización de infraestructuras y terminales, que representan el 84% del presupuesto total, produzcan un impacto en el mercado. No obstante, se destinan 903 millones de

euros a ayudas que fomentan el transporte ferroviario a corto plazo. En último lugar, encontramos una serie de medidas con un horizonte temporal intermedio, que se corresponden con la gestión de la capacidad y la digitalización. Estas están especialmente destinadas a mejorar la competitividad del sector y a abrir las puertas a nuevos servicios.

Finalmente, es importante señalar la prácticamente inexistencia de ayudas o medidas relacionadas con la innovación en el sector. Este aspecto es crucial, dado que el tren actualmente demuestra ser competitivo bajo una serie de circunstancias particulares. Por lo tanto, si el objetivo es incrementar su cuota modal y, por consiguiente, captar parte de la actividad de otros modos de transporte, la innovación desempeña un papel fundamental para mejorar su atractivo donde actualmente no destaca. Estos aspectos pueden abarcar diversas áreas, tales que la descarbonización (uso de nuevas tecnologías de tracción como pilas de combustible o combustibles alternativos), el desarrollo de nuevos materiales que permitan reducir el ruido, o el establecimiento de estándares para la conexión energética entre vagones, lo que permitiría la integración de un ordenador a bordo para facilitar el seguimiento, identificación o clasificación, entre otros.

4.8. Impacto medioambiental

La obtención y tratamiento de datos se realiza mediante Python. En el caso de la carretera, la API proporciona todos los datos necesarios en el sentido del trayecto. No obstante, en el caso del ferrocarril, son necesarios un análisis, limpieza y unificación de los parámetros, encontrándose cada uno de ellos inicialmente contenidos en distintos archivos. Finalmente, los datos empleados para el cálculo del consumo energético e impacto medioambiental cuentan con las siguientes características.

Modo de Transporte	Número de Puntos	Longitud Trayecto	Distancia máx. entre puntos	Distancia mín. entre puntos	Rampa máx.
Carretera	4.405	637 km	2.883 m	5,2 m	15,29 %
Ferrocarril	2.048	669,40 km	5.800 m	1 m	-14,7 ‰

Tabla 21 Características de los datos empleados para el caso de estudio

La siguiente tabla reagrupa los resultados obtenidos. Esta presenta el impacto medioambiental del trayecto Bordeaux-Marseille, expresado a través de la energía total consumida, la energía consumida por tonelada transportada y las emisiones de CO_2 por tonelada transportada, según distintos aprovechamientos y modo de transporte.

Modo de Transporte y Aprovechamiento	Carretera				Ferrocarril			
	1	**0,75**	**0,5**	**0,25**	**1**	**0,75**	**0,5**	**0,25**
Energía consumida [MWh]	1,19	1,19	1,19	1,19	6,93	6,16	5,39	4,62
Energía consumida [kWh/t]	47,67	63,55	95,32	190.64	5,14	6,09	7.99	13,69
Emisiones CO_2 [kgCO_2/t]	26,8	35,73	53,59	107.17	0,51	0,61	0,80	1,37

Tabla 22 Impacto medioambiental según aprovechamiento del transporte

A continuación, se presenta la evolución de las distintas métricas de impacto en función del aprovechamiento y modo de transporte.

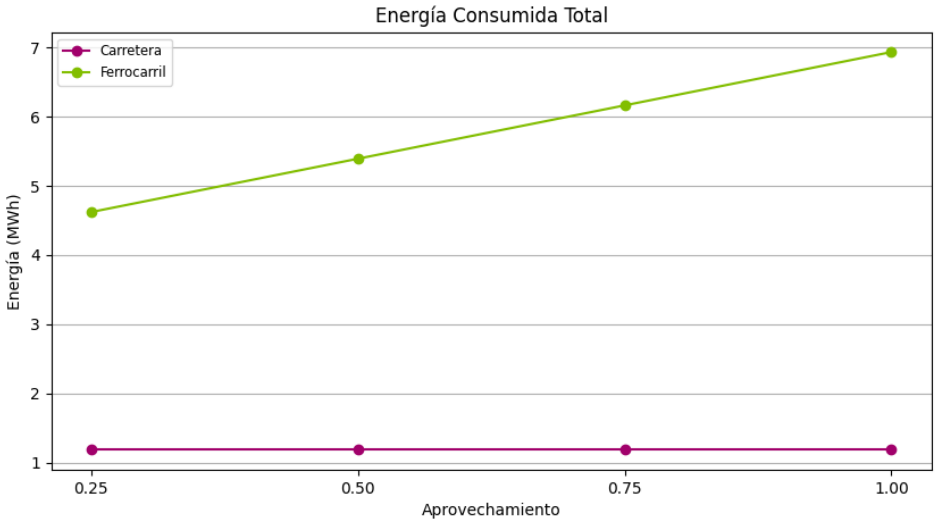

Figura 36 Energía consumida total según aprovechamiento y modo de transporte

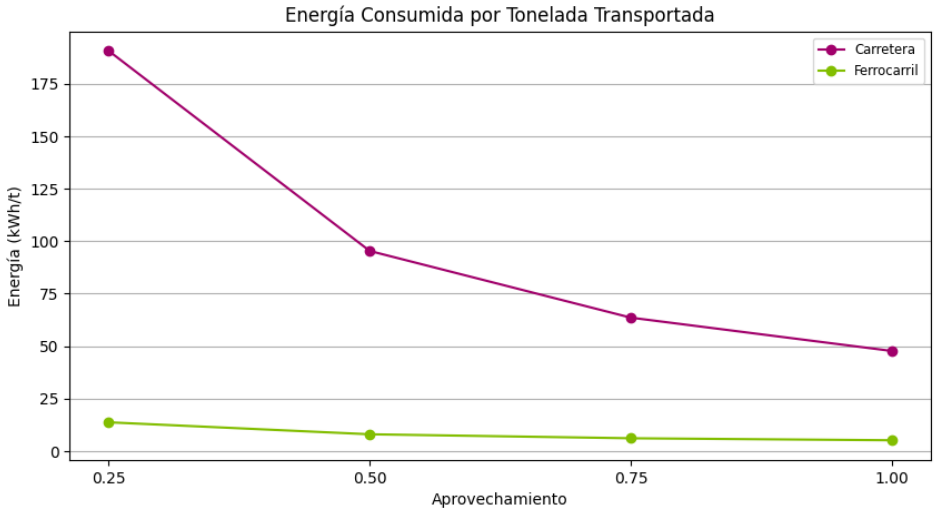

Figura 37 Energía consumida por tonelada transportada según aprovechamiento y modo de transporte

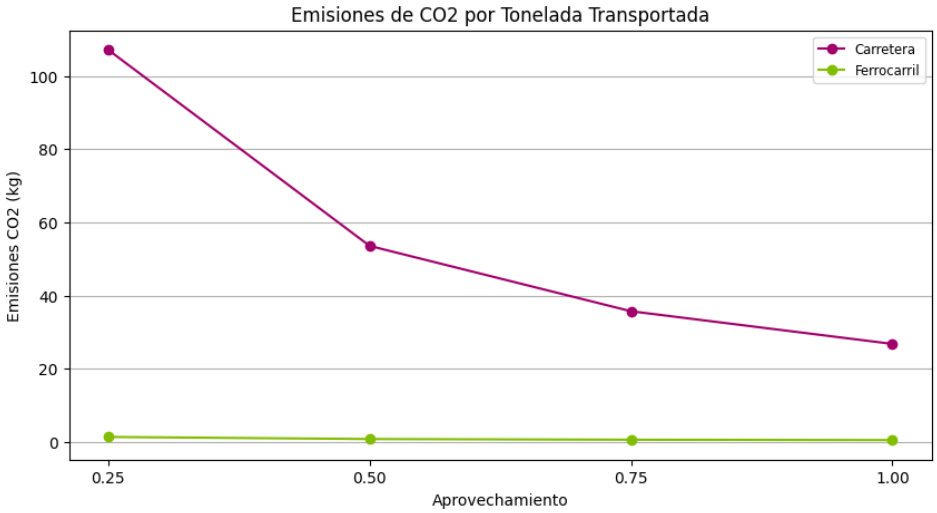

Figura 38 Emisiones de CO2 por tonelada transportada según aprovechamiento y modo de transporte

En primer lugar, se observa un fenómeno que diferencia al transporte por carretera y el ferrocarril. En el caso del camión, la resistencia aerodinámica prevalece, lo que resulta en una muy ligera influencia de en la energía consumida durante el recorrido ante variaciones de la carga. Por el contrario, en el caso del tren, la resistencia gravitatoria es predominante. Estas dos características se reflejan en una evolución de la energía consumida prácticamente constante para el camión y lineal para el tren, según el factor de aprovechamiento.

Como resultado de lo anterior, ante factores de aprovechamiento bajos, se observa un aumento significativo del impacto unitario del camión, ya que, al mantener un consumo prácticamente constante, dicho impacto se distribuye entre un menor número de toneladas transportadas. En el ferrocarril, donde el consumo energético disminuye de manera significativa con la carga, se presenta una situación en la que el impacto por

tonelada transportada también aumenta, si bien de una forma mucho menos acusada en comparación con el transporte por carretera.

En conclusión, estos resultados permiten destacar la mayor eficiencia energética del tren en comparación con el camión. Cabe resaltar que, incluso en el escenario hipotético de contar con una locomotora diésel, el impacto del ferrocarril seguiría siendo inferior, como se comprueba al comparar el consumo energético por tonelada transportada entre ambos modos de transporte. Es la propia naturaleza del ferrocarril y su mayor rendimiento energético, más aún en caso de tracción eléctrica y frenado regenerativo, lo que posiciona a este modo de transporte como un elemento clave en la descarbonización del transporte.

5. Conclusiones

El sector del transporte se erige como uno de los más intrincados y competitivos. En primer lugar, esto se comprueba mediante el análisis de las partes interesadas, las cuales mantienen una interdependencia integral, sin excepciones. Este fenómeno se traduce en la inexistencia de una parte interesada independiente con la capacidad de desencadenar un incremento sustancial en la cuota modal del transporte ferroviario de mercancías.

En lo que respecta al propio sector, históricamente se han implementado diversas iniciativas con el objetivo de estimular su desarrollo. No obstante, estas no han resultado exitosas. Un ejemplo palpable de ello es la liberalización del sector en Europa, la cual no generó los efectos anticipados en cuanto al crecimiento de la actividad.

De otro lado, nos encontramos con los factores externos, los cuales actúan como causas y efectos inherentes al propio transporte, es decir, como oferta y demanda. La concentración de la industria y la distribución geográfica de la población son algunos de los factores examinados que ejercen una influencia significativa en el sector. Asimismo, factores relacionados con otros modos de transporte, tales como una mayor flexibilidad o menores costos, también inciden en la actividad ferroviaria.

En lo que respecta a las estrategias adoptadas por diversos países europeos, todas convergen en una dirección común orientada hacia una armonización a nivel europeo, así como la digitalización y automatización del ferrocarril. El caso español sirve como un claro ejemplo de esta tendencia. Sin embargo, es relevante destacar que los presupuestos asignados a las infraestructuras son protagonistas, dada la elevada inversión necesaria, tendiendo la materialización de dichas medidas a dilatarse en el tiempo, generalmente.

En definitiva, puede afirmarse que la estrategia de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías en España está bien planteada, que responde a la situación actual y que propone soluciones en distintos ámbitos, tanto a corto como a largo plazo. Dichos ámbitos conciernen diversos aspectos, como la concentración de la industria o las necesidades específicas de distintos cargadores, considerados a través del estudio de la modernización de nodos y terminales estratégicas, e incluso proporcionando apoyo para la construcción de terminales privadas. Por otro lado, se consideran aspectos armonizadores, como la adopción del ERTMS o la adaptación de la red para trenes de 740 metros según el estándar UIC. Finalmente, numerosas medidas contemplan otras áreas como la seguridad, digitalización, automatización o medio ambiente.

Sin embargo, un plazo de tan solo 7 años para alcanzar el objetivo del 10% de cuota modal, genera ciertas dudas sobre la viabilidad de esta meta. En España, se

observa un dominio abrumador de la carretera en el transporte de mercancías. Por lo tanto, el transporte ferroviario enfrenta el desafío no solo de mantener su competitividad a lo largo del tiempo, lo cual implica una inversión considerable, sino también de hacerlo a una velocidad superior a la del transporte por carretera, de manera que las prestaciones del ferrocarril puedan superar a las de la carretera para poder así "robarle" una parte de su actividad.

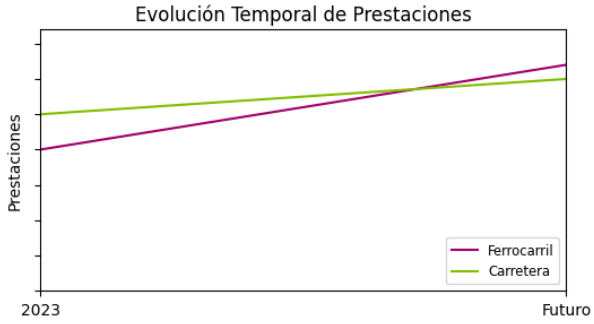

Figura 39 Evolución necesaria de prestaciones ferrocarril-carretera para aumentar la cuota modal ferroviaria

Las prestaciones mencionadas anteriormente pueden definirse en términos de coste, tiempo y flexibilidad, principalmente. El coste es el factor predominante que rige el sector del transporte de mercancías, si bien no siempre es el único a considerar. La flexibilidad de la puerta a puerta desempeña un papel crucial; ¿estaría el cliente final dispuesto a no pagar gastos de envío en sus pedidos online, a cambio de recibirlos en un plazo mayor?, o ¿pueden todos los cargadores planificar con varios meses de antelación la circulación de sus trenes de mercancías? Además, para algunos productos perecederos, como el pescado o las verduras, el tiempo necesario para que el producto llegue en las mejores condiciones posibles al consumidor es de vital importancia.

En resumen, la estrategia española para el desarrollo del transporte ferroviario de mercancías demuestra ser adecuada, si bien su objetivo puede considerarse optimista. La transición gradual de actividad entre modos de transporte, junto con la necesidad de abordar factores como costes, tiempo y flexibilidad, subraya la complejidad de alcanzar dicho objetivo en un periodo tan corto, debiendo atenerse a la pragmática realidad del sector.

Para concluir, resulta imperativo resaltar que, con el propósito de propiciar el progreso del transporte ferroviario de mercancías, y de la economía en su conjunto, se requiere una capacitación y preparación específica para las nuevas profesiones y desafíos que se vislumbran en el futuro. Esto se traduce en la necesidad de una formación especializada y de calidad, de tal manera que, desde la técnica y la excelencia, ambas respaldadas por planes sólidos y estructurantes, se pueda avanzar en el desarrollo del ser humano y de su actividad sin comprometer el planeta.

6. Líneas futuras

Un análisis de viabilidad de una estrategia es clave para identificar su potencial e impacto. Sin embargo, son numerosos los casos en los que los efectos producidos no se corresponden con los esperados. Por ello, este estudio puede ser prolongado a través de un estudio de seguimiento e impacto generado por estas medidas.

La propia página del Ministerio de Transportes, donde se puede encontrar la estrategia *Mercancías 30*, define una serie de indicadores y fórmulas de seguimiento para cada medida, las cuales serán publicadas a través de los canales del propio ministerio. Además, este prevé una actualización completa de la estrategia en 2025. De esta manera, un estudio de seguimiento complementario permitiría identificar las medidas que hayan provocado un mayor impacto, pudiendo analizar así la potencial redistribución del presupuesto que permitiría obtener el máximo rendimiento de esta de cara a alcanzar el objetivo establecido.

En adición, sería de gran interés realizar un estudio de satisfacción de las distintas partes interesadas, y en especial de los cargadores y operadores, ya que son estos quienes hacen posible el transporte ferroviario de mercancías en el día a día. Una serie de encuestas que permitan identificar fallos o puntos débiles en el acceso a la información y asesoramiento del sector serían clave para realizar un seguimiento de las necesidades del mercado, así como para simplificar el acceso a la información y, por tanto, el uso del ferrocarril como modo de transporte de mercancías.

Finalmente, sería de gran interés analizar el impacto de posibles modificaciones en la propia organización del sector ferroviario. En particular, resulta especialmente interesante plantear la aparición de un nuevo actor que permita, por un lado, a los administradores de la infraestructura planificar con antelación las franjas horarias y, por otro lado, posibilite el intercambio de estas con y entre los distintos operadores ferroviarios. ¿Podría este nuevo actor mitigar los efectos relacionados con la reducida flexibilidad actual del tráfico ferroviario y crecer así en atractividad?

7. Referencias

[1] **Gouvernement Français.** Les émissions de gaz à effet de serre et l'empreinte carbone. [En línea] 26 de Octobre de 2021. https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone.

[2] **Observatorio del Transporte y la Logística en España.** *Informe anual 2022.* 2023.

[3] **European Commission.** *Electrification of the transport system.* 2017.

[4] **Roland Berger.** *Study on the use of fuel cells and hydrogen in the railway environment.* 2019.

[5] **Commission Européenne.** *Le pacte vert pour l'Europe.* 2019.

[6] **Gouvernement Français.** Fret Ferroviaire. [En línea] Septiembre de 2021. https://www.ecologie.gouv.fr/fret-ferroviaire.

[7] **Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana.** *Mercancías 30.* 2022.

[8] **Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure.** *Rail Freight Masterplan.* Berlin : s.n., 2017.

[9] **BMDV.** Bundesprogramm „Zukunft Schienengüterverkehr". [En línea] 9 de Février de 2022. [Citado el: 26 de Juillet de 2023.] https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-schienengueterverkehr/foerderung-schienengueterverkehr.html.

[10] **Ministerstwo Infrastruktury.** *Sprawozdanie z wykonania planu realizacji Krajowego Programu Kolejowego do 2023 roku za rok 2022.* Warszawa : s.n., 2023.

[11] —. *Kierunki rozwoju transportu intermodalnego do 2030 r. z perspektywą do 2040 r.* Warszawa : s.n., 2022.

[12] **Fret Ferroviaire Français du Futur.** *Le fret ferroviaire pour concilier relance économique et écologique.* 2020.

[13] **Ministère chargé des transports.** *Stratégie nationale pour le développement du fret ferroviaire.* 2021.

[14] **VALENCE, David.** Écologie, développement et mobilité durables. Transports terrestres et fluviaux. [aut. libro] Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire. *Loi de finances pour 2023.* 2022.

[15] **Consejo de la Unión Europea.** *Directiva 91/440/CEE del Consejo, de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios.* 1991.

[16] **Eurostat.** *Railway freight transport statistics.* 2022.

[17] **Statistisches Bundesamt.** *Beförderte Güter, Beförderungsleistung (Eisenbahngüterverkehr): Deutschland, Jahre.* 2023.

[18] **Statista.** *Distribution between DB Cargo and private railway companies in transport performance of freight rail from 2013 to 2021.* 2023.

[19] **Mofair.** *Wettbewerber-Report Eisenbahnen 2021/22.* 2021.

[20] **DB Cargo.** DB Cargo Deutschland. [En línea] https://www.dbcargo.com/rail-de-en.

[21] **Captrain Deutschland.** Captrain Deutschland. [En línea] https://www.captrain.de/en.

[22] **SBB Cargo International.** SBB Cargo International. [En línea] https://www.sbbcargo-international.com/en.

[23] **TX Logistik.** TX Logistik. [En línea] https://www.txlogistik.eu/.

[24] **Metrans Rail.** Metrans Rail. [En línea] https://www.metransrail.de.

[25] **PKP Cargo.** Get to know us. [En línea] https://www.pkpcargo.com/en/who-we-are/get-to-know-us.

[26] **Lotos Kolej.** Lotos Kolej. [En línea] https://www.lotoskolej.pl/en/.

[27] **DB Cargo Polska.** DB Cargo Polska. [En línea] https://pl.dbcargo.com/rail-pl-en.

[28] **PKP LHS.** PKP LHS. [En línea] https://www.lhs.com.pl/pl.

[29] **ORLEN KolTrans.** ORLEN KolTrans. [En línea] https://www.orlenkoltrans.pl/.

[30] **Urząd Transportu Kolejowego.** *UTK Dane Kolejowe. Przewozy towarowe. Dane eksploatacyjne.*

[31] **Autorité de régulation des transports.** *Le marché français du transport ferroviaire en 2021.* 2022.

[32] —. *Bilan annuel marché ferroviaire voyageurs et fret. Séries et statistiques consolidées.* 2023.

[33] **CNMC.** *Informe anual del sector ferroviario (2021).* 2022.

[34] **RENFE.** Renfe Mercancías. [En línea] https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/sociedades/renfe-mercancias/mercancias-conocenos.

[35] **Captrain España.** Captrain España. [En línea] https://captrain.es/.

[36] **Continental Rail.** Continental Rail. [En línea] http://www.continentalrail.es/.

[37] **Transfesa Logistics.** Transfesa Logistics. [En línea] https://www.transfesa.com/.

[38] **Parlement Européen.** *Principaux systèmes d'électrification du réseau ferroviaire en Europe.* 2002.

[39] **Bundesministerium für Digitales und Verkehr.** *Bundesministerium für Digitales und Verkehr die Zukunft – Das Bahn- Elektrifizierungsprogramm des Bundes.* [En línea] 12 de Mars de 2021. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-aktuell/elektrobahn-klimaschonend-zukunft-bahn-elektrifizierungsprogramm.html.

[40] **Institut der Deutschen Wirtschaft.** *Faktencheck Güterverkehr in Deutschland. Von der fehlenden Infrastruktur zum Verlagerungspotenzial.* 2022.

[41] **Bundesnetzagentur.** *Marktuntersuchung Eisenbahnen 2022.* 2023.

[42] **PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.** *Network Statement 2022/2023.* 2023.

[43] **Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT).** Zintegrowany Model Ruchu – model towarowy. [En línea] 29 de Décembre de 2022. https://www.cupt.gov.pl/aktualnosc/zintegrowany-model-ruchu/zintegrowany-model-ruchu-model-towarowy/.

[44] **ADIF.** *Declaración sobre la Red Adif 2024.* 2023.

[45] **ADIF Alta Velocidad.** *Declaración sobre la Red Adif 2024.* 2023.

[46] **Pérez Mendoza, Eduardo Agustín.** Dinámica. [En línea] https://www.educaplay.com/printablegame/4226415-dinamica.html.

[47] **Martos, Alberto.** La resistencia a la rodadura y la importancia de los neumáticos. [En línea] 2023. http://www.blogmecanicos.com/2017/12/la-resistencia-la-rodadura-y-la_5.html.

[48] **Venezario.** Mantenimiento ferroviario. Amolado de carriles. [En línea] https://venzario.wordpress.com/2009/11/13/mantenimiento-ferroviario-amolado-de-carriles/.

[49] **Aparicio Izquierdo, Francisco, Vera Alvarez, Carlos y Díaz López, Vicente.** *Teoría de los vehículos automóviles.* Madrid : s.n., 2001.

[50] **Red Eléctrica.** Generación. [En línea] https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2.

[51] **Openrouteservice.** Openrouteservice. [En línea] https://openrouteservice.org/.

[52] **SNCF.** Open Data SNCF. [En línea] https://ressources.data.sncf.com/pages/accueil/.

[53] **Norme Internationale ISO 668.** *Conteneurs de la série 1 - Classification, dimensions et masses brutes maximales.*

[54] **MITMA.** Inspección y Seguridad en el transporte. [En línea] https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte.

[55] **Mercedes-Benz.** *Actros 2045 LS/36.*

[56] **Guillen Group.** *PC Ideal.*

[57] **RENFE.** Flota de trenes. Mercancías S253. [En línea] https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/grupo-renfe/flota-de-trenes/mercancias-s253.

[58] **Sánchez, Sergio López.** *Estudio aerodinámico de tren de mercancías en España y estimación de coeficientes aerodinámicos en función del número de vagones, la velocidad del tren y la velocidad del viento lateral.* 2019.

[59] **RENFE.** Renfe Mercancías. Mercancía Contenerizada. [En línea] https://www.renfe.com/es/es/grupo-renfe/sociedades/renfe-mercancias/mercancias-productos/contenerizada.

[60] **Hbf878, OpenStreetMap contributors.** *File: Bahnstrecken Deutschland Karte.svg.* [En línea] 18 de Décembre de 2022. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bahnstrecken_Deutschland_Karte.svg.

[61] **PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.** Maps. [En línea] https://en.plk-sa.pl/press/maps.

[62] **SNCF Réseau.** *Lignes électrifiées. Situation Janvier 2023.* 2023.

[63] **ADIF.** *Declaración sobre la Red Adif 2024. Mapas RFIG.* 2023.

[64] **Federal Ministry, Republic of Austria. Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology.** EU Rail Freight Corridors. [En

línea] 2020. https://www.bmk.gv.at/en/topics/mobility/transportation/international_eu/publications/rail-freight-corridors.html.

8. Planificación temporal

Al comienzo del proyecto se realizó un trabajo de identificación de sus principales objetivos y entregables, permitiendo así dividirlo en distintas tareas que facilitasen la planificación. La siguiente figura muestra la Estructura de Descomposición del Proyecto (EDP), donde se detallan dichas tareas en forma de árbol por orden jerárquico. Se verifica que las tareas recogidas en la EDP se corresponden en grandes rasgos con los diferentes capítulos del presente documento:

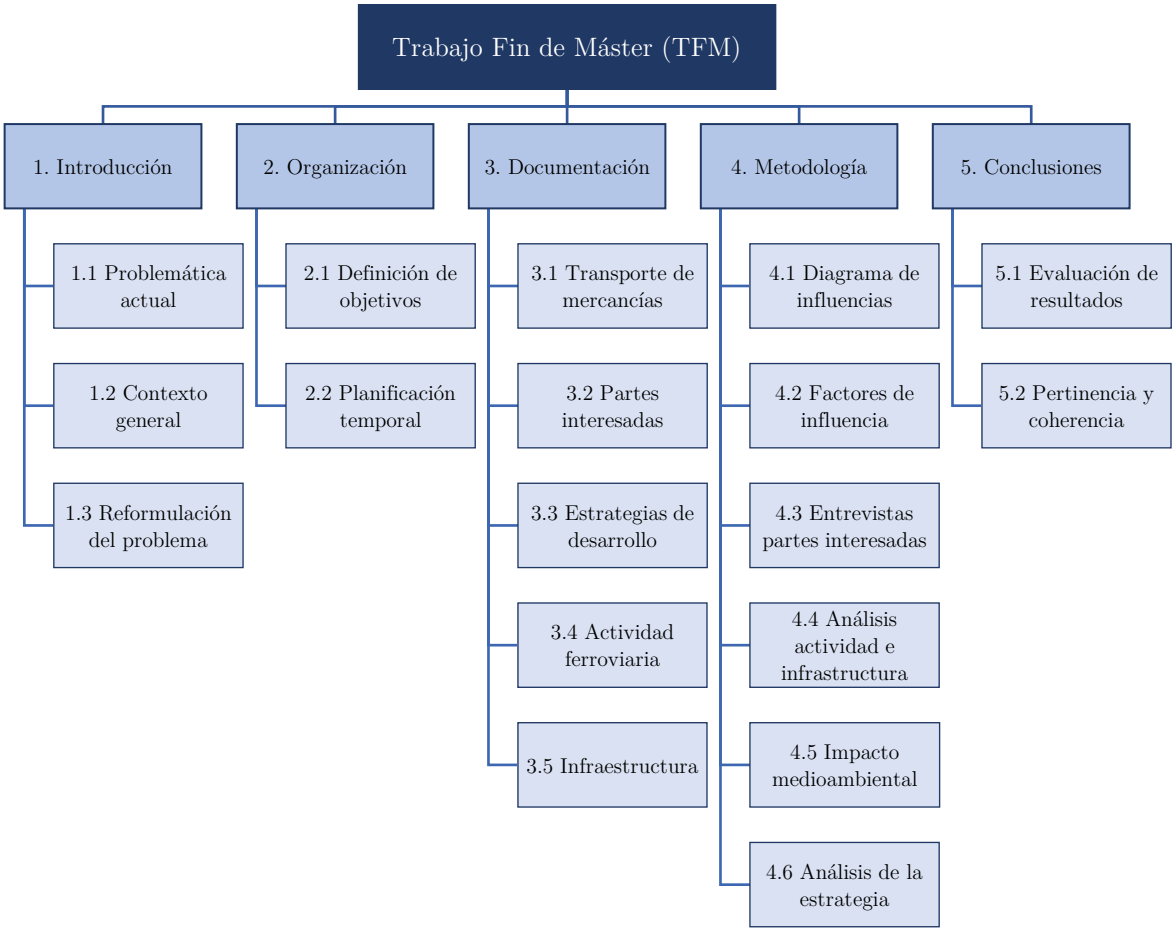

Figura 40 Estructura de Descomposición del Proyecto (EDP)

La figura siguiente presenta el diagrama de Gantt del proyecto, pudiéndose observar la planificación temporal de los distintos entregables. Desde un primer momento, estos se organizaron de manera secuencial, de manera que la finalización de un entregable contuviera todos los recursos necesarios para proceder con los siguientes. Adicionalmente, se consideraron dos semanas de margen de seguridad, las cuales sirvieron como medida de contingencia ante el total de los retrasos acumulados.

Independientemente, cabe resaltar el alto grado de seguimiento del plan inicial a lo largo de todo el proyecto, lo que facilitó su desarrollo,

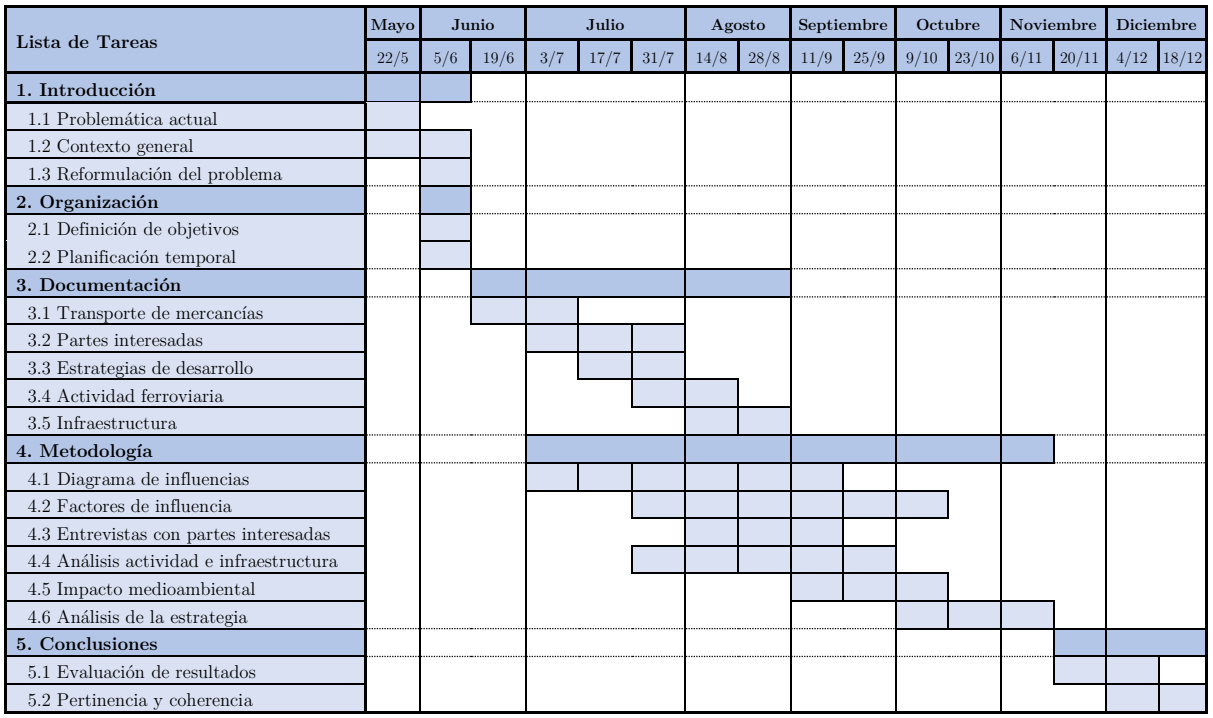

Figura 41 Diagrama de Gantt

9. Presupuesto

A continuación, se presenta la valoración económica de este proyecto según los recursos humanos y materiales empleados.

La clasificación de los recursos humanos empleados puede dividirse en ingenieros senior y junior. En primer lugar, encontramos a D. Juan de Dios Sanz Bobi y Dª Jeanne-Marie Dalbavie, tutores de este proyecto. Como ingenieros junior encontramos a D. Benoît Volant y D. Raúl Calvo, supervisor y autor del proyecto, respectivamente. La siguiente tabla recoge las horas dedicadas por cada parte implicada, así como la estimación presupuestaria.

Recursos Humanos	**Nº Horas [h]**	**Coste horario [€/h]**	**Coste Total [€]**
D. Juan de Dios Sanz Bobi	10	50	500
Dª Jeanne-Marie Dalbavie	35	50	1.750
D. Benoît Volant	35	25	875
D. Raúl Calvo Casas	980	25	24.500
TOTAL			**27.625**

Tabla 23 Coste de recursos humanos

El montante asociado a los costes de los recursos materiales reagrupa el amortizamiento de los dispositivos electrónicos y software empleados. Se considera un periodo de amortizamiento de 8 meses, correspondientes a la duración del proyecto, y una vida media útil de 6 años para los dispositivos informáticos. Adicionalmente, se consideran una serie de fungibles que engloban el consumo energético y material de oficina diverso.

Recursos Materiales	**Coste Total [€]**	**Amortizamiento [€]**
Ordenador Empresa *HP Probook*	950	105,56
Ordenador Personal *Lenovo Ideapad*	800	88,89
Monitor *BenQ*	120	13,34
Software *Micosoft 365*	69	46
Fungibles		40
TOTAL		**293,79**

Tabla 24 Coste de recursos materiales

La tabla siguiente muestra el coste total del proyecto en función de las partidas detalladas anteriormente.

Partida	**Coste Total [€]**
Recursos Humanos	27.625
Recursos Materiales	293,79
TOTAL	**27.918,79**

Tabla 25 Coste total por partidas

Finalmente, se presenta el presupuesto total del proyecto, ascendiendo este a 40.200,27 (cuarenta mil doscientos con veintisiete) euros.

Total partidas	27.918,79 €
Beneficio Industrial	19%
Cote del proyecto	33.223,36 €
IVA	21%
TOTAL	**40.200,27 €**

Tabla 26 Presupuesto total del proyecto

10. Valoración de impacto y responsabilidad

El presente trabajo explora la pertinencia y coherencia de la estrategia de desarrollo del transporte ferroviario de mercancías en España, la cual reviste de un alto impacto sobre el desarrollo de la nación en distintos ámbitos, revelando además una clara alineación entre la estrategia de desarrollo del sector en España y la *Agenda 2030*.

En primer lugar, se encuentra el ámbito medioambiental. A lo largo del documento se justifican los distintos beneficios del transporte ferroviario, como un mayor rendimiento energético o la reducción de emisiones de GEI. En el contexto actual, y especialmente a nivel nacional, donde la carretera representa el 92,6% de las emisiones del sector del transporte, la transferencia de flujos de mercancías desde este modo de transporte hacia el ferrocarril se perfila como un punto clave para avanzar hacia una movilidad más sostenible.

Desde el punto de vista del impacto social, se tienen factores como una potencial reducción de la congestión en la carretera y, por tanto, un aumento de la seguridad y de la fiabilidad del servicio, factores que afectan directamente a la calidad de vida de la población general. Además, los retos tecnológicos a los que se enfrenta el ferrocarril contribuyen a la expansión de la tecnología española, ya puntera en el sector, así como al crecimiento económico. Además, es importante resaltar la dimensión internacional del impacto a través de la adopción de sistemas armonizadores que facilitan la cooperación transfronteriza y la integración de distintas redes ferroviarias, permitiendo así la colaboración internacional para abordar desafíos comunes.

Desde un punto de vista ético, se destaca la importancia de asegurar el acceso a un servicio de calidad que considere los intereses de todas las partes interesadas, siempre dentro del marco medioambiental actual, haciendo hincapié en la búsqueda la de descarbonización del transporte y de la movilidad sostenible. De la misma manera, un enfoque holístico permite un seguimiento continuo y, por tanto, potenciales adaptaciones de la estrategia según la evolución de múltiples condiciones, tales como medioambientales y socioeconómicas.

Finalmente, dentro del marco de la *Agenda 2030*, se resaltan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que se abordan en este proyecto:

- **ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.** El desarrollo de las infraestructuras previstas respalda el desarrollo medioambiental sostenible y la integración de pequeñas industrias en la red ferroviaria.

- **ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.** El aumento de la cuota modal del transporte ferroviario de mercancías permitiría reducir el significativo impacto medioambiental negativo del transporte.
- **ODS 13. Acción por el clima.** El aumento de la actividad del transporte ferroviario promueve medidas contra el cambio climático a través de la eficiencia energética y reducción de emisiones de GEI.
- **ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos.** La cooperación con países fronterizos, especialmente sobre la interoperabilidad de la red, fomenta la creación de capacidad y alianzas comerciales.

Figura 42 ODS implicados

11. Índice de figuras

Figura 1 Reparto modal del transporte nacional de mercancías (t), 2021 [2] 5
Figura 2 Reparto modal del transporte internacional de mercancías (t), 2021 [2] 6
Figura 3 Evolución del transporte de mercancías por carretera (t), [2] 6
Figura 4 Evolución del transporte de mercancías por carretera (tkm) [2] 6
Figura 5 Mapa de principales flujos unidireccionales interregionales de mercancías por carretera (t), 2021 [2] 7
Figura 6 Ámbito del transporte de mercancías por carretera (t), 2020-2021 [2] 7
Figura 7 Evolución del transporte ferroviario de mercancías (t) [2] 8
Figura 8 Evolución del transporte ferroviario de mercancías (tkm) [2] 8
Figura 9 Evolución de indicadores del transporte ferroviario de mercancías [2] 9
Figura 10 Mapa de principales flujos ferroviarios de mercancías (tkm), 2020 [2] 9
Figura 11 Evolución del transporte aéreo de mercancías (t y tkm) [2] 10
Figura 12 Mapa de principales flujos aéreos de mercancías (kg), 2021 [2] 10
Figura 13 Evolución del transporte marítimo de mercancías (t) [2] 11
Figura 14 Actividad de los principales puertos nacionales (t), 2021 [2] 11
Figura 15 Evolución de las cuotas de cadenas multimodales y unimodales (t) [2] 12
Figura 16 Evolución de la cuota de transporte intermodal por modo (t) [2] 12
Figura 17 Evolución del transporte ferroviario de mercancías en Europa [16] 27
Figura 18 Transporte ferroviario de mercancías por país en Europa, 2021 [16] 28
Figura 19 Tipo de bienes transportados por ferrocarril en Europa, 2021 [16] 28
Figura 20 Evolución del transporte ferroviario de mercancías en Alemania [17] [18] ... 29
Figura 21 Cuota de mercado por operador en Alemania, 2020 [19] 29
Figura 22 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en Polonia [30] 31
Figura 23 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en Francia [31] 32
Figura 24 Evolución del tráfico ferroviario de mercancías en España [33] 33
Figura 25 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Alemania, 2021 [40] 38
Figura 26 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Polonia, 2021 [43] 39
Figura 27 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en Francia, 2021 [31] 41
Figura 28 Mapa del tráfico ferroviario de mercancías en España, 2021 [33] 42
Figura 29 Descomposición de fuerzas en un plano inclinado [46] 44
Figura 30 Resistencia a la rodadura [47] 45
Figura 31 Contacto pestaña-carril [48] 45
Figura 32 Separación del flujo [49] 46
Figura 33 Evolución de emisiones de la generación de energía en España [50] 48
Figura 34 Comparación del trazado Bordeaux-Masrseille por carretera (rojo) y por ferrocarril (verde) 49

Figura 36 Diagrama de influencias de las partes interesadas 54
Figura 37 Energía consumida total según aprovechamiento y modo de transporte 70
Figura 38 Energía consumida por tonelada transportada según aprovechamiento y modo de transporte 71
Figura 39 Emisiones de CO2 por tonelada transportada según aprovechamiento y modo de transporte 71
Figura 40 Evolución necesaria de prestaciones ferrocarril-carretera para aumentar la cuota modal ferroviaria 74
Figura 41 Estructura de Descomposición del Proyecto (EDP) 81
Figura 42 Diagrama de Gantt 82
Figura 43 ODS implicados 86
Figura 44 Mapa de la red ferroviaria en Alemania, 2022 [60] 92
Figura 45 Mapa de la red ferroviaria en Polonia, 2023 [61] 93
Figura 46 Mapa de la red ferroviaria en Francia, 2023 [62] 94
Figura 47 Mapa de la red ferroviaria en España, 2023 [63] 95
Figura 48 Mapa de los corredores ferroviarios de mercancías en Europa [64] 96

12. Índice de tablas

Tabla 1 Partes interesadas del transporte ferroviario de mercancías 13
Tabla 2 Principales operadores ferroviarios en Alemania [20] [21] [22] [23] [24] 30
Tabla 3 Principales operadores ferroviarios en Polonia [25] [26] [27] [28] [29] 30
Tabla 4 Principales operadores ferroviarios en Francia [32] 32
Tabla 5 Principales operadores ferroviarios en España [34] [35] [36] [37] 34
Tabla 6 Características principales de la red alemana [41] 38
Tabla 7 Características principales de la red polaca [42] 39
Tabla 8 Características principales de la red francesa [31] 40
Tabla 9 Características principales de la red española - ADIF [44] 42
Tabla 10 Características principales de la red española – ADIF AV [45] 42
Tabla 11 Dimensiones (mm) y masas (kg) de los contenedores más utilizados [53] 49
Tabla 12 Características principales del Mercedes-Benz Actros 2045 LS/36 [55] 49
Tabla 13 Características principales del Guillen Group PC Ideal [56] 50
Tabla 14 Características principales de la S-253 de RENFE [57] [58] 50
Tabla 15 Parque de vagones portacontenedores RENFE Mercancías [59] 51
Tabla 16 Transporte de mercancías en España por ámbito y modo (t), 2021 [2] 52
Tabla 17 Transporte de mercancías en España por ámbito y modo (%), 2021 [2] 52
Tabla 18 Comparación de las redes ferroviarias europeas 64
Tabla 19 Matriz de indicadores I 67
Tabla 20 Matriz de indicadores II 68
Tabla 21 Características de los datos empleados para el caso de estudio 70
Tabla 22 Impacto medioambiental según aprovechamiento del transporte 70
Tabla 23 Coste de recursos humanos 83
Tabla 24 Coste de recursos materiales 83
Tabla 25 Coste total por partidas 83
Tabla 26 Presupuesto total del proyecto 84

13. Abreviaturas y acrónimos

ADIF	Administrador De Infraestructuras Ferroviarias
API	Application Programming Interface
ART	Autorité de Régulation des Transports
ASFA	Anuncio de Señales y Frenado Automático
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CFF	Chemins de Fer Fédéraux suisses
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
CO_2	Dióxido de carbono
CO_2 eq.	Dióxido de carbono equivalente
CTC	Control de Tráfico Centralizado
CV	Caballos de Vapor
C_x	Coeficiente de resistencia aerodinámica
DB	Deutsche Bahn
ECTS	European Train Control System
EDP	Estructura de Descomposición del Proyecto
ERTMS	European Rail Traffic Management System
FS	Ferrovie dello Stato Italiane
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HZ	Hercio (Hertz)
ISO	International Organization for Standardization
MITMA	Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
MMA	Masa máxima autorizada
OF	Operador Ferroviario
OFP	Operador Ferroviario de Proximidad
OTLE	Observatorio del Transporte y la Logística en España
PKP	Polskie Linie Kolejowe
PLN	Złoty (Divisa polaca)
RENFE	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles
RFIG	Red Ferroviaria de Interés General
RFN	Réseau Ferré National
SNCB	Société Nationale des Chemins de fer Belges
SNCF	Société Nationale des Chemins de fer Français
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
tkm	tonelada-kilómetro

UE	Unión Europea
UIC	International Union of Railways
UTK	Urząd Transportu Kolejowego

14. Anexo – Cartografía

Figura 43 Mapa de la red ferroviaria en Alemania, 2022 [60]

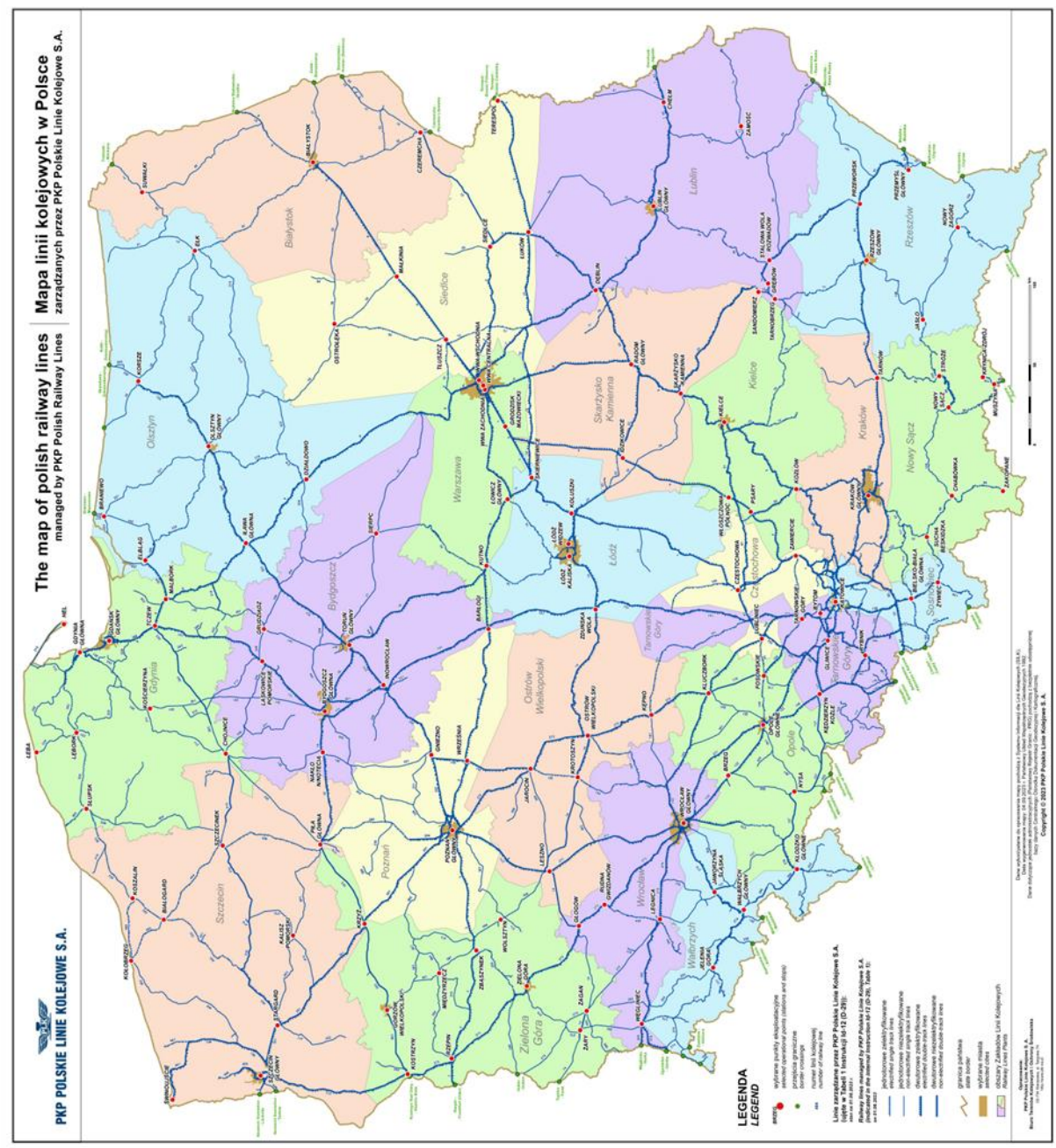

Figura 44 Mapa de la red ferroviaria en Polonia, 2023 [61]

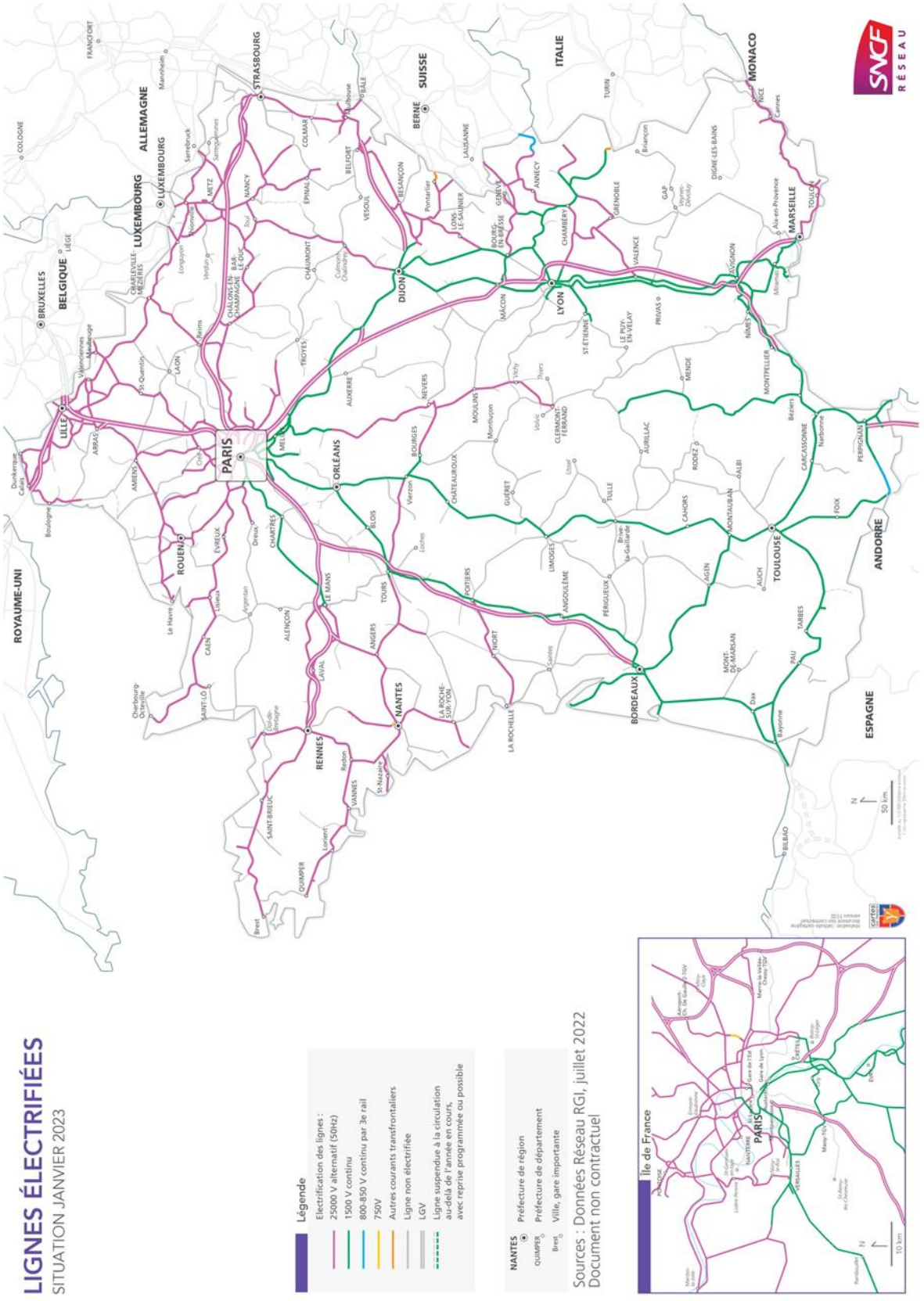

Figura 45 Mapa de la red ferroviaria en Francia, 2023 [62]

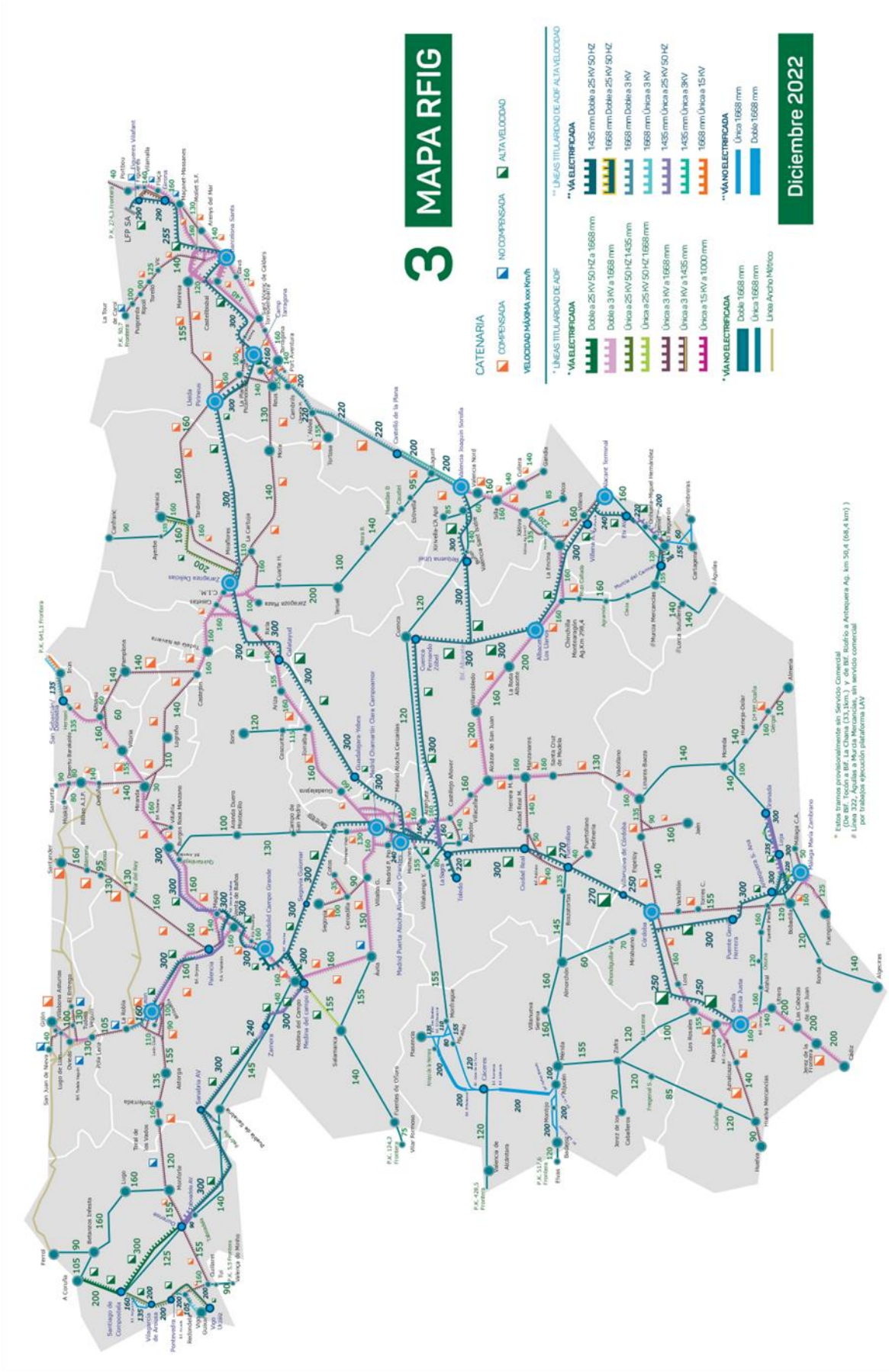

Figura 46 Mapa de la red ferroviaria en España, 2023 [63]

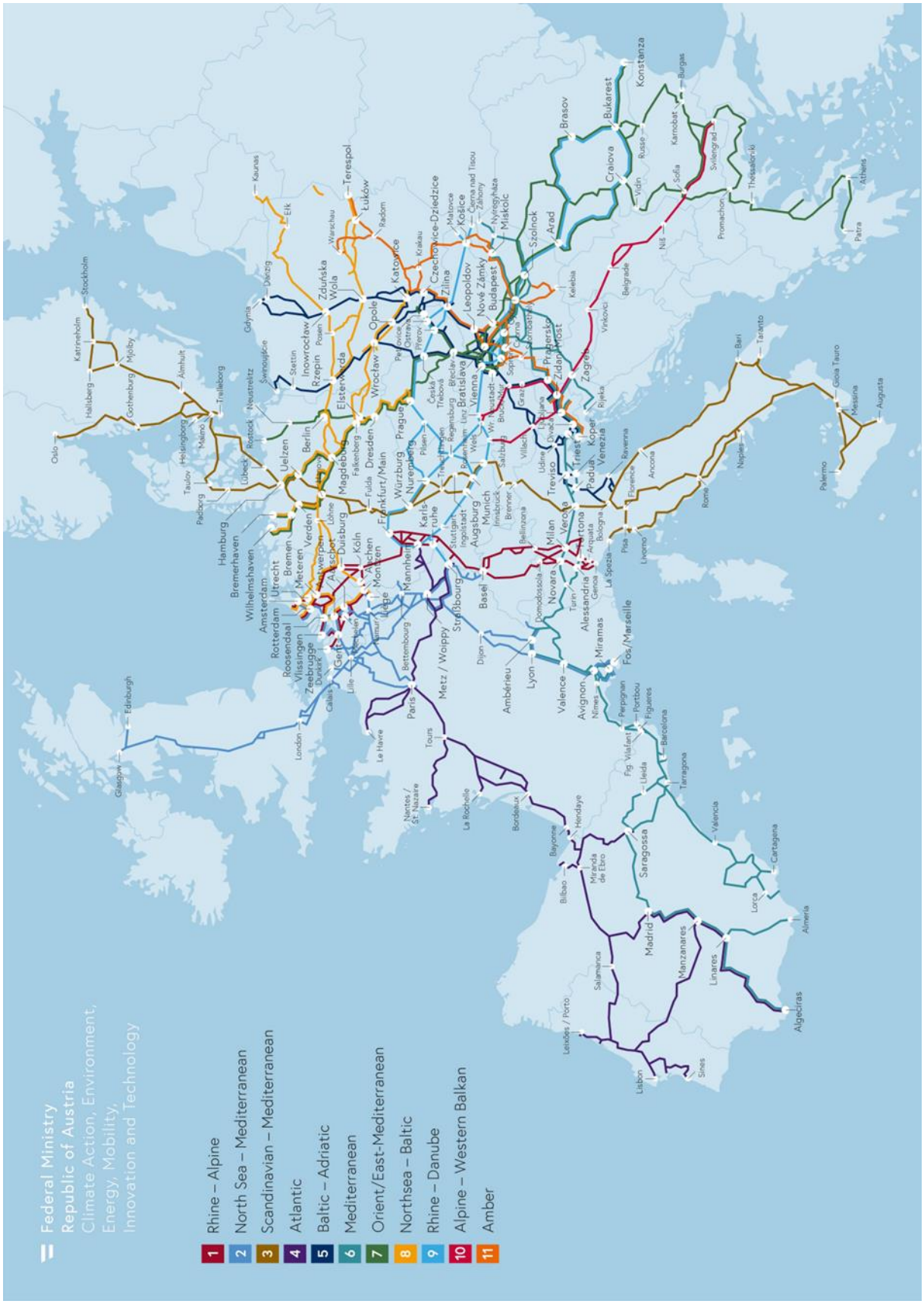

Figura 47 Mapa de los corredores ferroviarios de mercancías en Europa [64]