



ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE LA AUTOPISTA FERROVIARIA MADRID – ZARAGOZA – BARCELONA.

AMPLIACIÓN DEL TÚNEL “LA ROMERA” PARA EL PASO DE MATERIAL RODANTE COMPATIBLE.

Autor:

Marcos Rodríguez Serrano

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero Civil. Graduado en Dirección y Creación de Empresas.
Técnico en Ineco.

Tutores:

Juan Carlos Guerra Torralbo

María José Cano Adán

Oliva González González

Resumen

Los objetivos perseguidos por la Unión Europea en materia de transporte abren una gran oportunidad al ferrocarril de mercancías para convertirse en el modo de transporte más sostenible a larga distancia. Gracias a ello, existe una oportunidad real para establecer un servicio de Autopista Ferroviaria en la línea convencional Madrid – Zaragoza – Barcelona.

En este estudio se analiza la viabilidad de su implementación y se aporta una solución para la ampliación de uno de los túneles en servicio de la línea, para la adecuación de la infraestructura al nuevo servicio, con la ayuda de nuevas tecnologías y la metodología BIM.

Palabras clave: Unión Europea, Autopista Ferroviaria, ODS, BIM.

1. Introducción

En los últimos años de la planificación de infraestructuras se está desarrollando un nuevo enfoque del transporte, siguiendo las directrices europeas, más orientado a la sostenibilidad, a una mejor conexión internacional, y al impulso del ferrocarril como modo de transporte (tanto de personas como de mercancías) alineado con los objetivos buscados por la Unión Europea (UE). Con ello se pretende desarrollar una comunidad más descarbonizada que consiga el trasvase modal (de un modo de transporte menos sostenible) al ferrocarril, garantizando un sistema de transporte hacia la neutralidad carbónica.

Este estudio está compuesto por tres grandes bloques interconectados, que pretenden dar a conocer el ciclo de vida de un proyecto, desde la planificación de las estrategias de transporte hasta la construcción de la obra. Se comprende así el hilo conductor de proyecto y obra, su viabilidad dentro de un programa completo, así como su particularización a la ampliación de un túnel existente, para dar sentido a todo lo anterior.

Los tres grandes bloques, y sus objetivos marcados, son los siguientes:

- **La planificación del transporte**
 - Conocer la planificación del transporte hasta día de hoy para analizar y estudiar las necesidades en el presente y el futuro.
 - Determinar las oportunidades y los retos a los que se enfrenta el transporte de mercancías por ferrocarril en Europa.
 - Analizar los cambios en la planificación y en la destinación de recursos al transporte por las consecuencias de la crisis sanitaria de la COVID-19.
 - Determinar los corredores europeos de mercancías y la funcionalidad de las Autopistas Ferroviarias.
- **Autopista Ferroviaria Madrid – Zaragoza – Barcelona**
 - Analizar y desarrollar las oportunidades de potenciación de la línea convencional Madrid-Zaragoza-Barcelona como Autopista Ferroviaria para el tráfico de mercancías. Estudiar la posible demanda captada por este servicio, su rentabilidad y sus formas de financiación.
- **Ampliación del túnel de “La Romera”**
 - Comprender y aplicar los estudios de gálibos en un corredor en función de las necesidades futuras de operación de la línea.
 - Analizar y aportar una solución para la ampliación de un túnel ferroviario para el paso de material rodante compatible con el servicio de una Autopista Ferroviaria aplicando nuevas tecnologías y la metodología BIM.
 - Estudiar y aplicar el innovador sistema mecanizado de ampliación de túneles “TES” (Tunneling Enlargement System) que permite ejecutar la obra permitiendo la circulación ferroviaria por el interior de dicha máquina.

2. La planificación del transporte

Hasta hace unos años, la **planificación del transporte en España** se ha visto altamente marcada por la potenciación del transporte de viajeros a larga distancia, por medio de la alta inversión en la nueva red de Alta Velocidad Española (AVE). El destino en su mayoría de estos recursos al desarrollo del AVE, ha propiciado que la red convencional no evolucione al mismo ritmo que en otros países europeos.

La **actualidad** se encuentra marcada por el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) de 2012-2024, resultado de la necesidad de optimización de la infraestructura existente que ocasionó la crisis del 2008. En este Plan se recogían las nuevas políticas europeas de transporte y se comenzaba a tratar las medidas estratégicas de potenciación del transporte de mercancías para eliminar o mitigar las barreras físicas, económicas, operacionales y de gestión existentes. Además, en los objetivos del PITVI ya se hablaba de términos tan importantes y actuales como la eficiencia, el desarrollo económico equilibrado, la

movilidad sostenible, la cohesión territorial y la accesibilidad, así como la integración funcional y la intermodalidad.

Partiendo de esta base, el **futuro más cercano del transporte** se ve altamente marcado por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), poniendo en el centro estratégico al ferrocarril como modo de transporte más sostenible [1] [2] [3] [4] [5].

Esta **potenciación del ferrocarril**, como punta de lanza en las políticas europeas y nacionales, viene marcada por la relación existente entre las características intrínsecas de este modo de transporte y los objetivos perseguidos por la UE [6] [7]. Tanto es así que el año 2021 será el Año Europeo del Ferrocarril.



Fig 1. Objetivos de la Unión Europea para el transporte.

En este nuevo marco socioeconómico tras el impacto de la **COVID-19**, se siguen persiguiendo los mismos objetivos nacionales y europeos, pero cobra una mayor relevancia la recuperación europea de una forma sostenible [8]. Es decir, la gran inversión europea que se realizará para la recuperación económica deberá seguir los patrones de los ODS. Acorde a este criterio, se apuesta en este nuevo marco aún más por la potenciación del ferrocarril de mercancías a larga distancia.

Para lograr estos objetivos, y aumentar la competitividad del ferrocarril de mercancías, se establecen una serie de **actuaciones en la red ferroviaria** española mencionadas en la siguiente figura, entre las que se encuentra la adecuación de la red convencional.



Fig 2. Actuaciones en la red ferroviaria para su potenciación.

Para materializar estas actuaciones, la UE marca una serie de **herramientas financieras** dentro del Marco Financiero Plurianual 2021-2027, con un total de 1,8 billones de euros, como “Conectar Europa” [9], el “Fondo de Cohesión” o el “Fondo Europeo de Desarrollo Regional”.

Además, dada la situación excepcional vivida por la pandemia, la UE consigue cerrar un acuerdo europeo para sacar adelante el Plan de Recuperación “Next Generation EU” (2021-2024) [10], con un total de 750.000 millones de euros (dentro del Marco Financiero) con tres objetivos fundamentales: recuperar los daños socio-económicos, relanzar la economía y preparar un futuro mejor, bajo el lema “Invertir en una Europa ecológica, digital y resiliente”. De estos 750.000 M€, el 19% (140.000 M€) serán destinados a España, tanto en subvenciones como en préstamos, de los cuales Adif ha solicitado hasta 14.000 M€, dado que sus planes “cumplen con las premisas que marca la Comisión Europea, ya que responden a los ODS, persiguen la intermodalidad y vertebran territorios”.

Dentro de este desarrollo, el Parlamento Europeo estableció una serie de **corredores europeos de mercancías** para aumentar la competitividad del ferrocarril frente a otros modos de transporte, constituyendo así la espina dorsal de la Red Transeuropea de Transporte, entre los que se encuentra el Corredor Mediterráneo [11] [12]. Nacen con el objetivo de crear una red ferroviaria para un transporte de mercancías competitivo, mejorando la eficiencia, reforzando la cooperación entre administradores de infraestructuras para conseguir unos objetivos comunes que promuevan la intermodalidad y la interoperabilidad, entre otros [13].

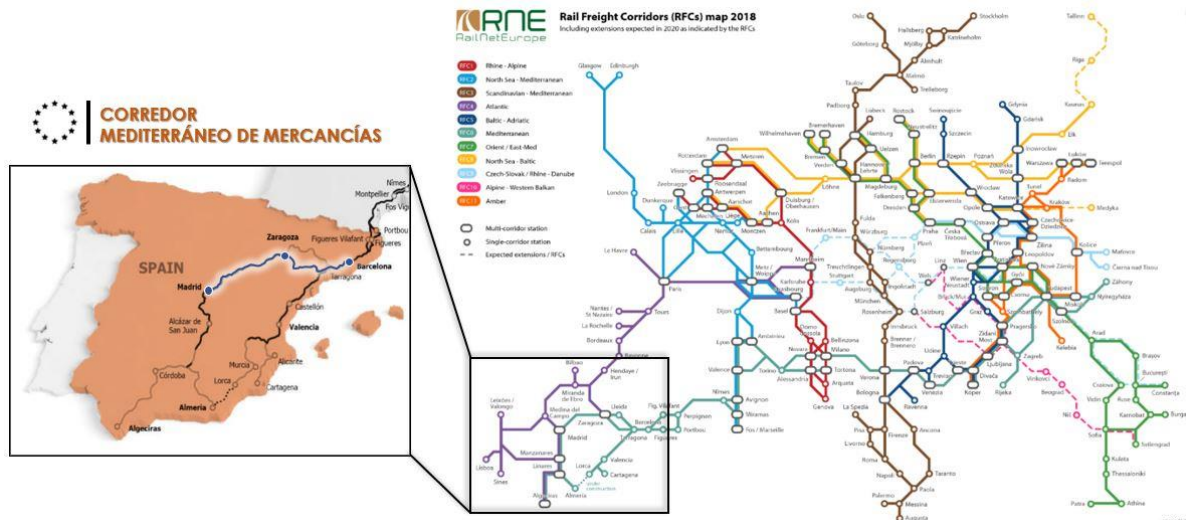


Fig 3. Corredor Mediterráneo de Mercancías.

3. La autopista ferroviaria Madrid – Zaragoza – Barcelona

Las **autopistas ferroviarias** son servicios lanzadera en los que se montan camiones sobre plataformas ferroviarias a lo largo de la red ferroviaria, permitiendo la intermodalidad entre los puertos, las carreteras y la red ferroviaria. Para ello, es necesario disponer de material rodante capaz de cargar los camiones en los vagones, de unas terminales de mercancías adecuadas que ofrezcan el servicio de carga/descarga y adecuar la infraestructura para permitir la circulación de los trenes [14].

La línea convencional Madrid – Zaragoza – Barcelona, dentro del Corredor Mediterráneo, y con la baja saturación que presenta tras la construcción de la línea de alta velocidad, presenta una **oportunidad única** para ofrecer un servicio de Autopista Ferroviaria que conecte los flujos de mercancías más importantes del territorio, con origen o destino en países de la Unión Europea, y persiga los objetivos marcados por Europa.

Además, en los primeros meses del año 2020, el Gobierno de España y Adif anunciaban proyecto estratégico y prioritario la Autopista Ferroviaria “Puerto de Algeciras – Madrid – Zaragoza Plaza” [15], con el fin de conectar la mayor terminal de carga de mercancía del sur de Europa con el puerto con mayor tráfico

exterior de mercancías Ro-Ro en España, convirtiendo así a Plaza en el punto de intercambio de mercancías más importante del país.

Siguiendo este planteamiento, en este estudio se analiza la **demanda de mercancías** que captaría este servicio de Autopista Ferroviaria en función de diferentes casuísticas y, por lo tanto, el **trasvase modal** efectuado, para conseguir los objetivos europeos. Para ello, se han utilizado diversas fuentes como, por ejemplo, la “Encuesta Permanente del Tráfico de Mercancías por Carretera” [16], el “Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos” [17] o el “Estudio para el desarrollo de Autopistas Ferroviarias en la Península Ibérica” [18].

Partiendo de estos datos, el proceso para hallar el trasvase modal ha consistido, en primer lugar, en obtener el tráfico actual de vehículos pesados, analizar la demanda global apta para el servicio de Autopista Ferroviaria, estimar el crecimiento al año horizonte (2050) en función de diferentes parámetros (evolución del entorno macroeconómico, previsiones macroeconómicas, evolución del tráfico de mercancías, impacto de la COVID-19 en el transporte y el efecto de la desglobalización y la relocalización de la producción) y, por último, obtener la demanda global apta en el año horizonte.

A partir de esta demanda global apta, se utilizó un modelo de utilidad basado en algoritmos estadísticos en base a Preferencias Declaradas para obtener el trasvase modal, con el objetivo de maximizar la utilidad entre la carretera o el ferrocarril. Para ello, se modelizó el trasvase modal en base a diferentes atributos: la tarifa de la Autopista Ferroviaria (con un rango amplio de variación entre 0,1 – 1 €/km), los peajes, la distancia, el tiempo y la seguridad.

De este estudio de demanda, se concluye lo siguiente:

- La demanda es muy elástica a la tarifa.
- Para conseguir los objetivos europeos de trasvase modal (30% en 2030 y 50% en 2050), es necesario mejorar todos los atributos en favor del ferrocarril.
- La tarifa que mayor captación genera es la menor de ellas.
- La tarifa que mayor ingreso genera es 0,4 €/km.
- La tarifa que logra los objetivos de trasvase es 0,4 €/km.

Además, se estudia la **rentabilidad** que ofrece el proyecto en función del establecimiento de diferentes tarifas ferroviarias, así como las necesidades de financiación para poder llevar a cabo las inversiones de potenciación.

En el modelo económico-financiero, se tienen en cuenta los ingresos por tarifa, las inversiones necesarias en infraestructura, terminales y material rodante, así como los gastos operacionales.

Se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la rentabilidad:

TARIFA		TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)
Mayor trasvase modal	0,1 €/km	Inviabile económicamente
Mayor ingreso	0,4 €/km	11,01%
Mayor rentabilidad	0,5 €/km	12,99%
Tarifa actual	0,7 €/km	10,99%

En este caso, la tarifa a adoptar debería situarse en el término medio entre la obtención del mayor trasvase modal (siguiendo los objetivos de la UE) y la rentabilidad del proyecto, para conseguir que sea viable.

Para modelizar la **financiación del proyecto**, se propone el modelo de participación público-privada (objetivo también de la UE) mediante un capital propio del 12%, una deuda del 18% y una aportación UE a fondo perdido del 70%, para hacer viable el proyecto, aunque sería factible también un proyecto 100% público. Con estos resultados, se presenta una situación ideal para acogerse al fondo de recuperación “Next Generation EU” por lo alineado que está el proyecto con los objetivos de la UE.

4. Ampliación del túnel de “La Romera”

Teniendo en cuenta que el establecimiento de un nuevo servicio de estas características en un corredor ferroviario existente comprende nuevas necesidades operativas (material rodante nuevo) y, por tanto, la **adecuación** de dicha línea en términos como la adaptación de gálbos, en este estudio se decide analizar, como caso práctico, la ampliación del túnel de “La Romera” (del año 1864), dentro de la propuesta Autopista Ferroviaria Madrid – Zaragoza – Barcelona, para el paso de material rodante compatible, con el importante reto en este tipo de actuaciones de ampliar sin afectar a las circulaciones existentes.

Para conocer el **estado actual** del túnel, ubicado entre los apeaderos de Bubierca y Ateca, de 271 metros de longitud, se han utilizado nubes densas de puntos 3D del túnel existente, el informe de inspección que describe el estado actual (a febrero de 2020) y datos LIDAR 3D como apoyo para el conocimiento de la orografía del terreno.

Se trata de un túnel de vía doble con hastiales rectos y bóveda en arco de medio punto (de radio 3,92 metros) con sostenimiento, en general, de sillería.

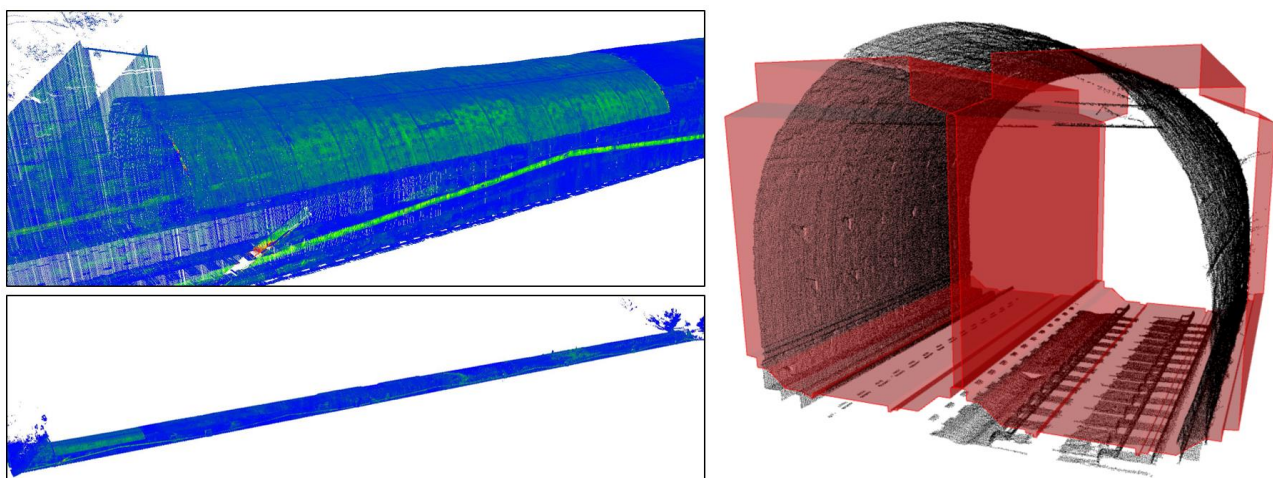


Fig 4. Nube de puntos del túnel y estudio de gálbos.

A partir de ello, y aplicando la normativa de referencia como la “Instrucción Ferroviaria de Gálbos” [19], la “Norma Adif Plataforma de Túneles” [20] y la “Especificación Técnica de Interoperabilidad (Seguridad)” [21], ha sido posible realizar un estudio de gálbos 3D para analizar la necesidad de ampliación y establecer la sección tipo en galería necesaria para ofrecer el servicio descrito.

Si bien en la actualidad hay una consulta no vinculante a fabricantes de material rodante [22] para analizar el gálbo a implantar en las Autopistas Ferroviarias, hasta el momento no se ha decidido cuál será de aplicación. Por ello, se decide aplicar un gálbo GEC16 + GC (lo más restrictivo en la actualidad).

La sección tipo ampliada en galería se proyecta con una bóveda en arco de medio punto de 5,70 metros de radio y hastiales rectos, con sostenimiento formado por cerchas HEB-160 o TH-21 (en función del tramo), hormigón proyectado y bulones, y el revestimiento de hormigón.

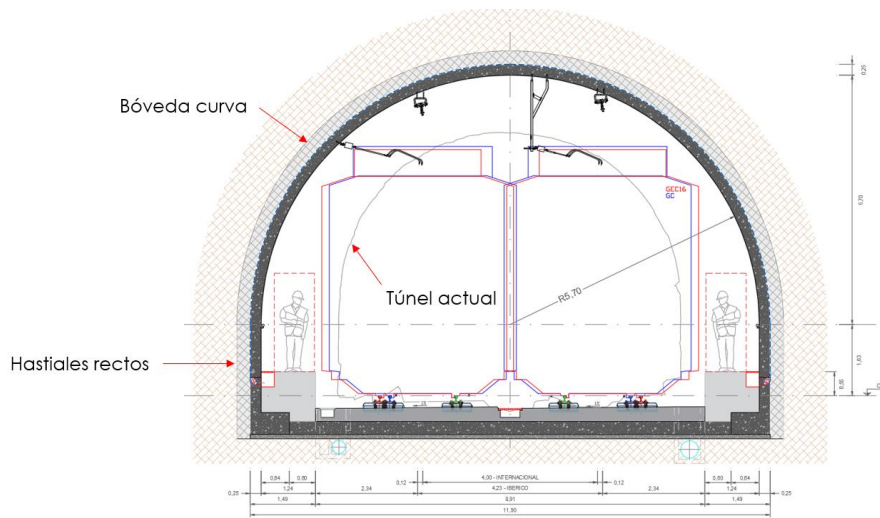


Fig 5. Sección tipo de la ampliación del túnel.

La tramificación de las soluciones propuestas vienen condicionadas tanto por la clasificación geomecánica de la roca en cada tramo (marcando los condicionantes de diseño y ejecución) como por los riesgos geotécnicos existentes en galería y, sobre todo, en emboquilles (condicionando por completo la solución). Se establecen así cuatro tipos de tratamientos diferentes: emboquille de entrada con falso túnel y relleno de protección, tramo en galería con $RMR < 40$, tramo en galería con RMR entre 40-60 y emboquille de salida con estructura de protección.

Para analizar la viabilidad de las soluciones constructivas se realizó un modelo BIM del túnel que sirvió además para realizar el estudio de gálibos, para obtener mediciones y presupuesto, incluir información de la inspección del túnel, añadir la información constructiva, realizar colisiones entre los elementos constructivos, planificación constructiva, generar planos de manera automática y obtener unas imágenes y videos renderizados que permitiesen comprender el proyecto de una forma más intuitiva.

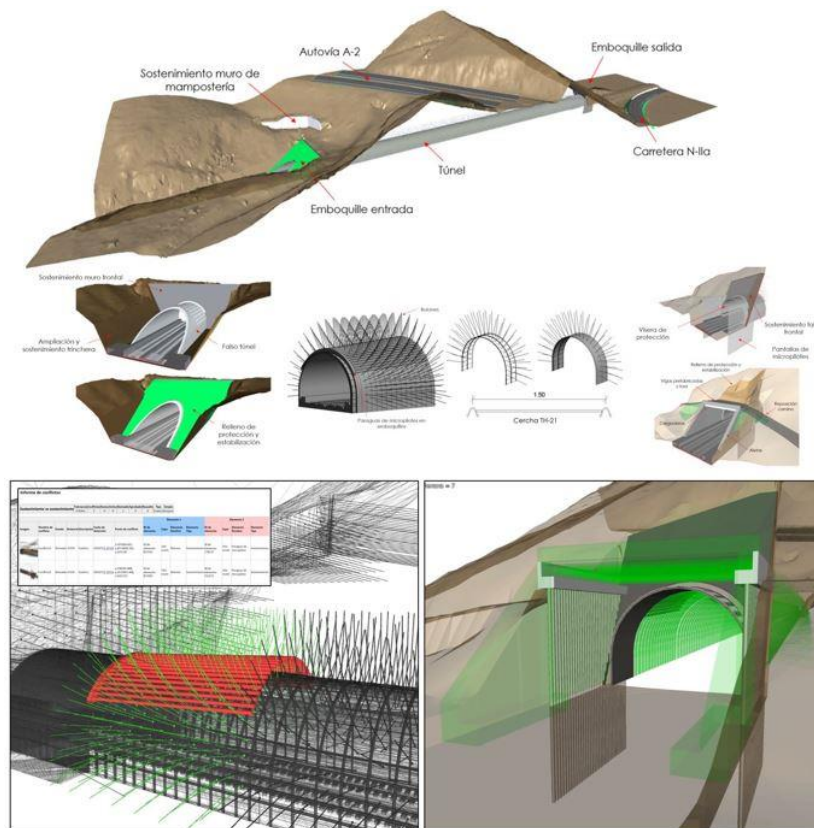


Fig 6. Soluciones constructivas del modelo BIM, detección de colisiones y planificación constructiva.

El método constructivo para la ampliación del túnel se plantea mediante un sistema mecanizado innovador en Europa con una máquina denominada TES (Tunneling Enlargement System) [23] que permite ejecutar la obra sin afección al tráfico ferroviario, permitiendo la circulación de trenes por el interior de dicha máquina. En España solamente hay una única referencia de uso, en la ampliación del túnel de Gaintxurizketa, de la línea Astigarraga-Irún [24].

Este sistema es aplicable al resto de túneles en vía doble de la línea planteada, por lo que la máquina es amortizable para el proyecto en su conjunto. Además, es una máquina que ofrece una gran adaptabilidad al terreno, permitiendo realizar todo tipo de labores de excavación y sostenimiento.



Fig 7. Máquina TES para la ampliación de túneles en servicio. (Fuente: Periódico construcción, 2018)

El Presupuesto de Ejecución Material de ampliación del Túnel de “La Romera” equivale a un total de 4.729.241,28 €.



Fig 8. Imágenes de emboquilles y vídeo (QR) del túnel ampliado.

REFERENCIAS

- [1] CER, Community of european railway and infrastructure companies. (2019). *CER Policy Agenda 2019-2024. Ever better railways for an ever closer Union*. Bruselas: CER.
- [2] Comisión Europea. (2019). *EU Transport in figures. Statistical Pocketbook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [3] Comisión Europea. (2019). *The European Greed Deal*. Bruselas.
- [4] Ministerio de Fomento. (2013). *Estrategia logística de España*.
- [5] Secretaría General de Transportes. (2019). *Observatorio del Transporte y la Logística en España*.
- [6] Parlamento Europeo. (2020). *El transporte ferroviario*. Recuperado de Fichas temáticas sobre la Unión Europea.
- [7] Rail Freight Forward. (2020). *Rail Freight Forward, European Rail Freight Vision 2030*.
- [8] Comisión Europea. (2020). *Plan de recuperación para Europa*.
- [9] Comisión Europea. (2018). *El mecanismo "Conectar Europa" (MCE)*.
- [10] Comisión Europea. (junio de 2020). *El presupuesto de la UE: motor del plan de recuperación para Europa*. #EUBudget #EUSolidarity # StrongerTofether.
- [11] Mediterranean Rail Freight Corridor. (2020). *Mediterranean Rail Freight Corridor*. Spain-France-Italy-Slovenia-Croatia-Hungary.
- [12] Adif. (2020). *Corredor Mediterráneo SIL*.
- [13] Adif. (2020). *Adif, Corredores europeos*.
- [14] Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (2019). *Colaboración y sinergias entre carretera y ferrocarril: los retos de las autopistas ferroviarias*. Madrid.
- [15] Heraldo. (2020). *El gobierno declara proyecto prioritario la autopista ferroviaria Plaza-Algeciras*. Heraldo.
- [16] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2019). *Encuesta Permanente de Transportes de Mercancías por Carretera (EPTMC)*.
- [17] Ministerio de Fomento. (2019). *Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos. Suplemento al documento nº8, diciembre 2019*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.
- [18] Ministerio de Fomento. (2015). *Estudio para el desarrollo de autopistas ferroviarias en la Península Ibérica*. Madrid.
- [19] Ministerio de Fomento; Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2015). *Instrucción Ferroviaria de Gálibos. Orden FOM 1630/2015, de 14 de julio*. Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones.
- [20] Adif. (2018). *Norma Adif Plataforma "Túneles". NAP 2-3-1.0+M1*.
- [21] Comisión Europea. (2014). *REGLAMENTO (UE) Nº1303/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de noviembre de 2014 sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la "seguridad en los túneles ferroviarios" del sistema ferroviario de la Unión Europea*.
- [22] Ministerio de Fomento; Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. (2018). *Servicios de Autopista Ferroviaria (AF) en los ejes Atlántico y Mediterráneo. Convocatoria de manifestaciones de interés. Consulta a los fabricantes y diseñadores de material móvil*.
- [23] GTA. (2017). *Tunnel Enlargement Gantry TEP 8400*. Recuperado de GTA Maschinensysteme GmbH
- [24] Adif. (2017). *Ampliación gálibo túneles*.