



FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
ICADE

**DIGITALIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN EN EL
SECTOR FERROVIARIO:**

UN TREN QUE EUROPA NO DEBE PERDER

Autora: Katia Hödl Hofheinz

Director: Raúl González Fabre

MADRID, Abril 2019

Resumen

En este estudio se analiza la situación del sector ferroviario en la actualidad, las respuestas que el ferrocarril (en sus distintos segmentos, desde la movilidad hasta el transporte de larga distancia) está dando al desafío tecnológico en el transporte, y los efectos que la digitalización y automatización tienen y previsiblemente tendrán en el sector desde un punto de vista de su seguridad, eficiencia, impacto medioambiental, y en el empleo. El análisis nos facilitará la respuesta a la pregunta de si merece la pena seguir apostando por el sector ferroviario en el futuro.

Palabras clave: trenes autónomos, eficiencia, digitalización, ciberataques y ciberseguridad

Abstract

This study analyses the current situation of the railway industry, how rail (including its different segments, from urban mobility to long distance transport) is responding to the technological challenges in transport, and the impact that digitalization and automation are and most likely will have for the industry from the viewpoint of its security, efficiency, environmental footprint and employment. The analysis will allow us to respond to que question as to whether it is worth continuing to bet on the railway industry in the future.

Key Words: autonomous trains, efficiency, digitalisation, cyber-attacks and cyber-security

El objetivo de mi trabajo es ofrecer un análisis del sector ferroviario en la actualidad y, con los elementos que tenemos, de cara al futuro para ofrecer una respuesta a la pregunta de si merece la pena apostar por el sector ferroviario en un mundo en el que la revolución tecnológica está trastocando totalmente los modelos tradicionales de movilidad.

Dicho análisis debería ofrecernos una visión objetiva y global del sector que podría servir de punto de partida para valorar si merece la pena un análisis cuantitativo de rentabilidad comparativa del sector, tarea ésta última, que no voy a abordar en mi trabajo.

En mi análisis he recurrido a diversas fuentes: los gráficos los he extraído de Statista, el Ministerio de Fomento, BCG, Civity Management Consultant, International Energy Agency y la Comisión Europea. Las demás fuentes de información que me han servido como base de mi estudio son: la publicación White Paper (años sucesivos), Position Paper, diferentes artículos contenidos en Future of Rail, Rail 2050 Vision, Challenge 2050, Railway 2050. En estos principalmente he podido extraer información relacionada con el futuro del sector ferroviario. Además me he apoyado en fuentes como Digital Railway Strategy, A sustainable future for transport, A Roadmap for Digital Railways o Railway Efficiency, así como libros y revistas especializadas.

Para enfatizar o hacer atractivas algunas tesis he incorporado comentarios de directivos del sector ferroviario.

El estudio está estructurado en cinco apartados: el primero muestra el punto de partida del transporte ferroviario, nos sitúa dentro del panorama general. El segundo, entra en profundidad en el análisis del sector del transporte ferroviario en la actualidad. El tercero recoge las respuestas tecnológicas que el sector está ofreciendo a la revolución digital global, el cuarto analiza el impacto que la digitalización del sector tiene sobre el medio ambiente, el empleo y sobre la seguridad y en el quinto y último, se responde a la pregunta inicial de nuestro estudio, si merece la pena apostar por el sector de cara al futuro.

ÍNDICE

I.	Introducción	4
II.	Punto de partida: La situación del sector ferroviario	5
II.1.	Situación competitiva del sector ferroviario	6
II.2.	Análisis DAFO del sector ferroviario	11
	A) Fortalezas	11
	B) Debilidades	12
	C) Amenazas: La competencia	13
	D) Oportunidades del ferrocarril	16
III.	Respuestas del sector ferroviario a los nuevos retos	18
III.1.	Respuestas tecnológicas	18
III.1.1.	Digitalización e el transporte ferroviario	19
III.1.2.	Digitalización en las infraestructuras ferroviarias	21
III.1.3.	Las nuevas tecnologías aplicadas al material rodante: mantenimiento y los ATO (Automatic Train Operations)	22
III.1.4.	Impacto para los fabricantes y proveedores	24
III.1.5.	Impacto para el cliente	24
III.1.6.	Impacto en los operadores ferroviarios	25
III.1.7.	Block-chain y su impacto en el sector ferroviario	25
III.2.	Integración de operadores	26
III.3.	Integración con otros medios de transporte	27
III.4.	Respuestas normativas	27
IV.	Impactos de la digitalización	28
IV.1.	Mejoras de eficiencia	28
IV.2.	Impacto medioambiental	32

IV.3. Efectos en el empleo	35
IV.4. El reto de la ciberseguridad	38
V. Futuro del sector ferroviario	40
V.1. Ganadores y perdedores de la digitalización	40
V.2. Organización geográfico-poblacional	41
VI. Conclusión	42
VII. Bibliografía	52

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Gráfico 1.1:</i> Evolución del transporte de mercancías internacional aéreo. 2007-2016 (en miles de toneladas)	8
<i>Gráfico 1.2:</i> Evolución del transporte de mercancías internacional por carretera. 2007-2016 (en miles de toneladas)	8
<i>Gráfico 1.3:</i> Evolución del transporte de mercancías internacional marítimo.2007-2016 en miles de toneladas	9
<i>Gráfico 1.4:</i> Evolución del transporte de mercancías internacional ferroviario. 2007-2016(en millones de toneladas)	10
<i>Gráfico 2:</i> Cuota modal de transporte de mercancías en España (toneladas netas)	10
<i>Gráfico 10:</i> Relación de los costes de acuerdo al tipo de transporte	16
Gráfico 4: Representación simplificada de los ingresos/costes del sistema ferroviario	28
<i>Gráfico 5:</i> Nivel de utilización de infraestructuras ferroviarias y material rodante por países, 2011	31
<i>Gráfico 6:</i> Intensidad de uso y eficiencia energética de los diferentes medios de transporte para pasajeros y mercancías	33
<i>Gráfico 7:</i> Clasificación del Índice de la Economía y la Sociedad Digitales de 2018	35
<i>Gráfico 8:</i> Productividad laboral del sector ferroviario en diferentes países	36
<i>Gráfico 9:</i> Evolución de accidentes con víctimas en carretera (vías urbanas e interurbanas)2005-2016.	44
<i>Gráfico 9.2:</i> La Evolución del número de accidentes, accidentes significativos y accidentes graves en el transporte ferrocarril . 2006-2016	44
Gráfico 9.3: Número de accidentes e incidentes aéreos . 2007-2016	45

I. INTRODUCCIÓN

El transporte ferroviario fue, sin duda, uno de los motores de la primera Revolución Industrial, comenzando por la red ferroviaria en Inglaterra a comienzos del siglo XIX. En los albores del siglo XXI, parece pertinente plantearse qué papel jugará el tren en la llamada cuarta Revolución Industrial, impulsada por la digitalización, la automatización y la robotización en la Industria 4.0 pero también en el transporte, la logística y los servicios.

Abordaremos el tema a partir de las siguientes preguntas:

- En la actualidad, ¿qué ventajas o debilidades tiene el transporte ferroviario respecto de otras formas de transporte?
- A futuro, ¿qué necesita el sector para poder competir con esas otras formas de transporte? ¿Es la digitalización y la automatización la respuesta a esas necesidades?
- Por lo tanto, ¿resulta recomendable o al menos conveniente que los Estados, empresas y usuarios inviertan en digitalización y automatización del sector ferroviario, y asuman los costes que implica? ¿Quiénes serán los ganadores y los perdedores de este proceso?

II. PUNTO DE PARTIDA: LA SITUACIÓN DEL SECTOR FERROVIARIO

II.1 INTRODUCCIÓN

El sector ferroviario abarca ámbitos tan dispares como **el transporte** de mercancías y el de pasajeros, y en este último desde el ferrocarril urbano (metro, tren ligero y tren de cercanías) hasta el tren de alta velocidad en rutas de medio y largo recorrido. Abarca, además, la **infraestructura ferroviaria** (frecuentemente de titularidad estatal o regional, y gestionada por un operador también público -aunque en Estados Unidos las redes ferroviarias son privadas y en el Reino Unido el operador es privado bajo supervisión pública-), **los operadores** de transporte (públicos en su origen pero que en el proceso de liberalización del sector son cada vez más privados) y los **proveedores** del material para la infraestructura y del llamado material rodante (“*rolling stock*”).

Dada la complejidad del sector, resulta imposible analizar en el ámbito de este trabajo todos los aspectos de la revolución tecnológica que le afecta. Sin embargo, muchos de los retos del sector y sus respuestas son comunes porque todos estos ámbitos interactúan y se condicionan recíprocamente. Por tanto he preferido no centrar el análisis en uno solo de los agentes o de las redes (por ejemplo, en los operadores de transporte de pasajeros en el ámbito urbano) sino más bien en los elementos comunes a todos ellos.

El Apéndice 1 incluye una breve descripción del sector ferroviario en España que da una idea de esta complejidad.

II.2 LA SITUACIÓN COMPETITIVA DEL SECTOR FERROVIARIO

El ferrocarril, como anticipamos, estuvo en el origen mismo de la primera Revolución Industrial, fue sinónimo de progreso, de sociedades avanzadas y modernas, fue el pilar del transporte y la logística en el XIX. Sin embargo, el sector entró en declive a comienzos del siglo XX en dura competencia con el transporte por carretera, marítimo y fluvial y, a partir de mediados de siglo, el transporte aéreo. En el siglo XXI se enfrenta, además, al reto de los nuevos medios de transporte que se avecinan, como los drones.

En el siglo XX el transporte ferroviario respondió de diferentes maneras ante los cambios: hubo países que siguieron apostando por el transporte ferroviario intentando modernizarlo y hacerlo competitivo, otros que optaron por la nacionalización del sector y otros que lo abandonaron parcial o totalmente.

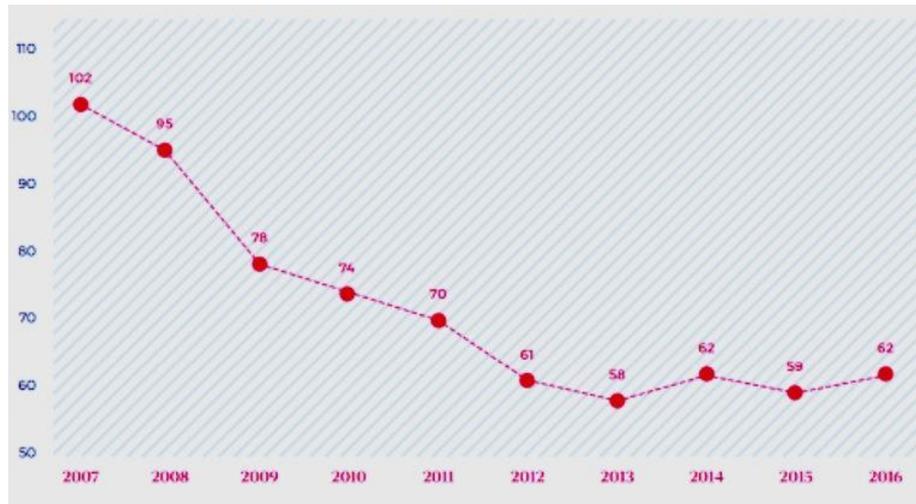
En este punto, podemos partir del análisis del caso España: nuestro país se incluye en el grupo de países europeos que claramente no apostó por el transporte ferroviario. Por tomar un dato de la CNMC de época relativamente reciente (2016): entre los años 2015 y 2016 hubo un incremento en el transporte de mercancías por carretera del 2,1%, aéreo del 11,2% y marítimo del 4,2%. El transporte ferroviario, sin embargo, descendió un 8,3%.¹

Analicemos, brevemente, con el caso español, cómo ha sido la evolución del transporte internacional de mercancías terrestre (tren y carretera), marítimo y aéreo entre el 2007 y 2016.

Entre los años 2007 y 2013, coincidentes con la gran crisis económica, el transporte de mercancías por vía aérea en España experimentó una evolución negativa, mientras que a partir del 2016 la evolución ha sido positiva.

¹ "Informe de Supervisión del Mercado de Transporte Ferroviario de Mercancías año 2016" de la CNMC, del 14 de diciembre 2017

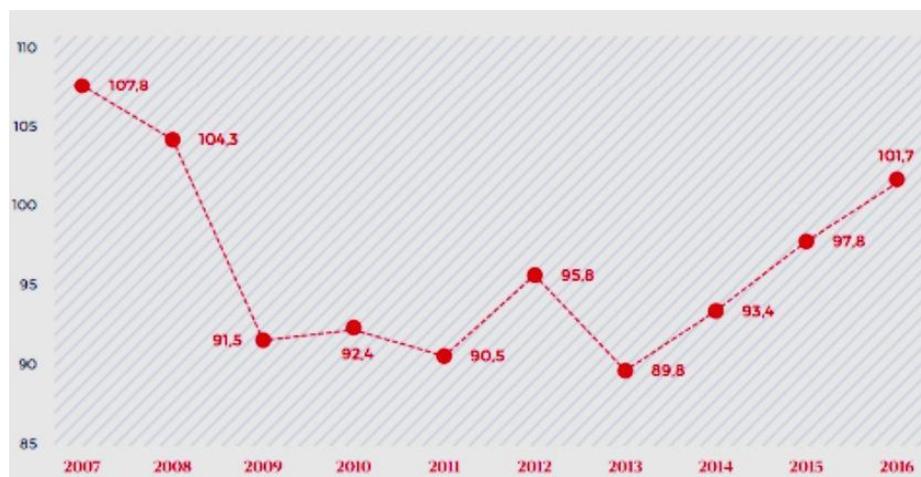
Gráfico 1.1: Evolución del transporte de mercancías internacional aéreo. 2007-2016 (en miles de toneladas)



Fuente: Statista, 2018

También el transporte de mercancías por carretera en España, al igual que el aéreo, sufrió un descenso significativo durante la crisis económica. Esta tendencia cambia a partir del año 2013, en el que el transporte por carretera vuelve a aumentar, llegando en 2016 casi al mismo nivel de 2008 (107,8 toneladas).

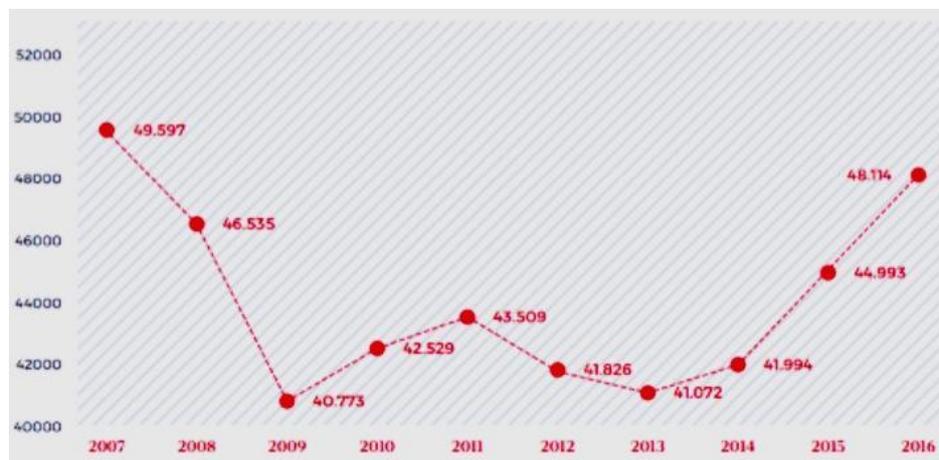
Gráfico 1.2: Evolución del transporte de mercancías internacional por carretera. 2007-2016 (en miles de toneladas)



Fuente: Statista 2018

En parecida medida el transporte marítimo en España también acusó mucho la crisis, recuperándose claramente a partir de 2014, fecha a partir de la cual la tendencia ha sido ascendente. En 2014 se pasó de transportar 41.994 millones de toneladas a 48.114 millones de toneladas al año. Se trata del medio de transporte más importante y absolutamente hegemónico en el mundo para el transporte de mercancías para largas distancias, entre continentes, etc.

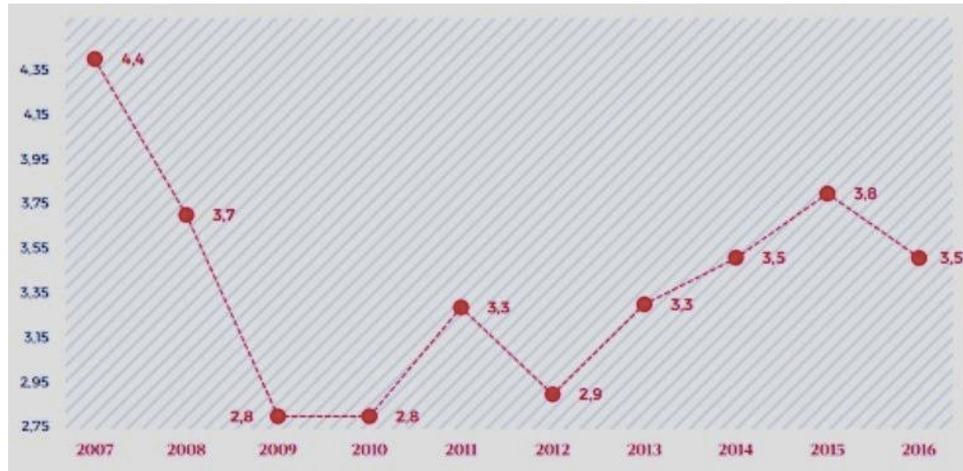
Gráfico 1.3: Evolución del transporte de mercancías internacional marítimo.2007-2016 en miles de toneladas



Fuente: Statista 2018

Aunque el gráfico nos indique que en España el transporte de mercancías por ferrocarril se haya recuperado después de la crisis, tenemos que tener en cuenta que el volumen total de toneladas transportadas entre los años 2007 y 2016 es, comparativamente, insignificante.

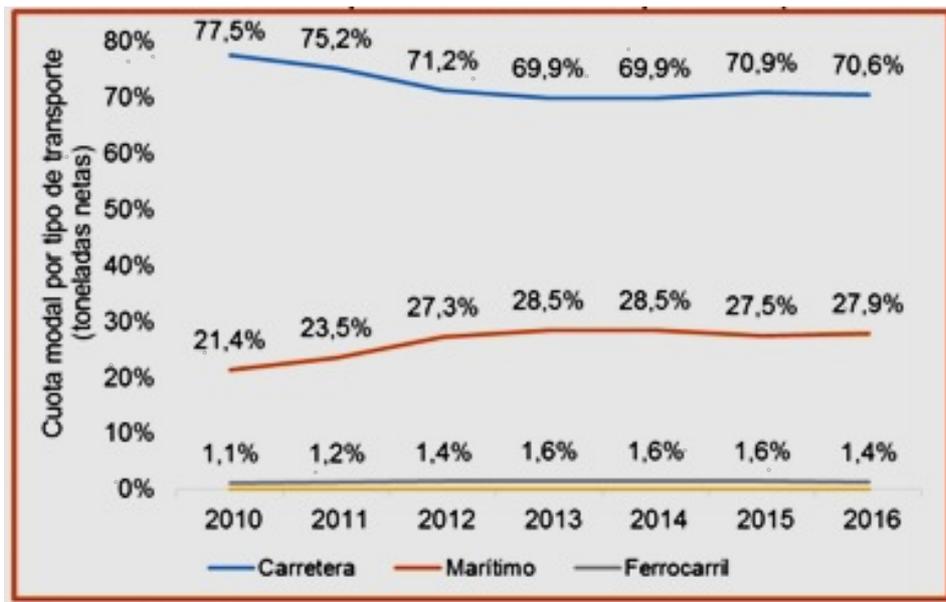
Gráfico 1.4: Evolución del transporte de mercancías internacional ferroviario. 2007-2016(en millones de toneladas)



Fuente: Statista 2018

Observemos ahora el siguiente gráfico que refleja las toneladas netas transportadas en España entre los años 2010 y 2016 por carretera, mar y ferrocarril:

Gráfico 2: Cuota modal de transporte de mercancías en España (toneladas netas)



Fuente: Datos del Ministerio de Fomento y los operadores ferroviarios

Resulta interesante observar, cómo a lo largo de los años el transporte por carretera, en términos de cuota modal, ha tenido un gran descenso de 77,5% en 2010 hasta 70,6% en 2016. Aun así de 2015 a 2016 el cambio ha sido mínimo (70,9% a 70,6%). Este gran cambio se debe fundamentalmente a la subida del transporte vía marítima que experimentó un importante aumento entre 2010 y 2016 (21,4% a 27,9%). El aumento, sin embargo, entre 2015 y 2016 no fue excesivo. En el caso del transporte por ferrocarril la cuota modal supuso un descenso entre 2015 y 2016 de 1,6% a 1,4%.²

Como conclusión podríamos decir para el caso español, que el transporte de mercancías se sigue realizando sobre todo por carretera, que el transporte marítimo ha ganado mucho terreno en los últimos años y que el transporte de mercancías aéreo y con ferrocarril, en términos absolutos, es poco importante.

Sin embargo, aunque a nivel estadístico resulte poco relevante el transporte ferroviario en España, es puntero en la industria ferroviaria (alto desarrollo tecnológico) y un referente mundial.

El transporte ferroviario en España factura 2150 millones de euros al año y la industria ferroviaria 4350 millones de euros anuales. De esta segunda cantidad, 2500 millones de euros provienen de la exportación.

Los sucesivos gobiernos de nuestro país en los últimos años han reconocido la necesidad de potenciar el transporte ferroviario fundamentalmente por motivos ambientales, pero, de facto, las políticas seguidas han ido en otra dirección.

Algunos intentos fueron el *Plan Estratégico para el Impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías en España* (2010), que planteaba el aumento del transporte de mercancías ferroviario entre 8-10% en 2020 y *La Estrategia Logística de España* (2013) que ofrecía crear vías para una coordinación eficiente de las actuaciones de las Administraciones Públicas en esta materia.^{3,4}

La Comisión Europea ha establecido, en el Libro Blanco, algunos objetivos a seguir en los próximos años⁵:

² "Informe de Supervisión del Mercado de Transporte Ferroviario de Mercancías 2016" de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) de 14 de diciembre 2017

³ "Plan estratégico para el impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías en España" del Ministerio de Fomento, de noviembre 2010

⁴ "Estrategia logística de España" del Ministerio de Fomento, del 8 de julio 2013

⁵ "Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible. Libro blanco" de la Comisión Europea, del 28 de marzo 2011

- a) Sustituir el 30% del transporte por carretera -que supere distancias de 300 km- por el transporte ferroviario para 2030
- b) Aumentar a 50% esta sustitución para 2050

II.3 ANÁLISIS DAFO DEL SECTOR FERROVIARIO

A) Fortalezas

Las ventajas o fortalezas del sector ferroviario se resumen bien en el estudio de ERRAC denominado “Rail 2050 Vision”⁶ en torno a cuatro aspectos:

- Movilidad: el estudio parte de la premisa de que “*Europe’s railway network is the heart of its mobility, serving the travel needs of its citizens and playing a key role in the distribution of the goods they buy and use.*”
- Seguridad: también recuerda que “*rail is the safest form of land transport.*”

Estas afirmaciones del estudio de ERRAC vienen avaladas en los gráficos elaborados por el Ministerio del Interior y el Ministerio de Fomento (recogidos en el Apéndice 2). De ellos se desprende, que el índice de accidentes más bajo lo tiene el transporte aéreo, luego el ferrocarril y por último -y siendo comparativamente muy elevado- el transporte por carretera

- Eficiencia energética y bajo impacto medioambiental: el ferrocarril es el modo de transporte más eficiente desde el punto de vista energético y, por ende, el menos contaminante (“*rail is recognized as the most environmentally friendly form of mass transport*”).⁷ Mientras el sector transporte en general es responsable de más de la mitad de la demanda de petróleo y de cerca de un cuarto de las emisiones de CO2 globales, a nivel global el ferrocarril sólo representa el 2% de la demanda energética (aunque transporta el 8% de los pasajeros y el 7% de las mercancías). De hecho en la actualidad más de tres cuartas partes del transporte ferroviario se realiza con convoyes eléctricos (frente al 60% en el año 2000).⁸ Por tanto, el sector contribuye de forma determinante a la protección del medioambiente.

⁶ Rail 2050 Vision. Rail - The Backbone of Europe’s Mobility”, The European Rail Research Advisory Council, 2017

⁷ “Forget self-driving cars: Here’s how driverless trains are moving ahead” de Tina Amirtha, 6 de abril 2017

⁸ “The future of rail” de international energy agency;Dr. Faith Birol,Executive Director

- Contribución al crecimiento económico e integración del territorio: el citado estudio finaliza listando las contribuciones del ferrocarril a las necesidades de la sociedad europea y como catalizador del crecimiento económico en Europa.⁹

Una red ferroviaria extensa dentro de un territorio favorece su desarrollo económico.

- Elevado nivel de desarrollo y consolidación: El ferrocarril es conocido por su alta exportación y la implantación de empresas nacionales a nivel internacional, reforzando así los nuevos horizontes.

B) Debilidades

A pesar de su alta seguridad y bajo consumo y contaminación, el ferrocarril presenta evidentes debilidades centradas, sobre todo, en su dependencia de una infraestructura (la red ferroviaria) cara y saturada.

- Costes de infraestructura muy elevados ; así también los costes de mantenimiento. Un ejemplo podría ser la apuesta que ha hecho España por el tren de alta velocidad en el que se lleva invertido mucho dinero. Entre 2007 y 2011 se ha invertido 21.000 millones de euros, más de un 45% del total histórico. Se ha financiado con recursos ajenos, lo cual refleja una deuda importante en las cuentas de Adif. Por hacernos una idea de la dimensión de los costes; si se hiciera un bypass de Torrejón de Velasco a la línea de Andalucía de tren de alta velocidad el kilómetro de infraestructura costaría entre 5 millones y 15 millones de euros por kilómetro dependiendo de cómo se salven los condicionantes orográficos y geológicos. El montaje oscilaría entre los 1,7 y los 2 millones de euros por kilómetro. Además habría que sumar los costes de la electrificación, señalización y los costes de las nuevas estaciones. La electrificación supondría entre 0,8 y 1,3 millones de euros/km y la señalización entre 1,1 y 3,3 millones de euros. Suponiendo que la estación es de tamaño medio, sería aproximadamente entre 15 y 50 millones de euros.¹⁰
- Saturación de redes, a veces casi al límite de su capacidad

⁹ "Rail 2050 Vision. Rail-The Backbone Of Europe´s Mobility", The European Rail Research Council,2017

¹⁰ "El by-pass de Torrejón de Velasco (Madrid) para conectar las líneas de Andalucía y Levante" de María del Carmen Palao

- First mile-last mile. Además, el ferrocarril carece de la flexibilidad que tienen otros medios de transporte, sobre todo por carretera. Esta debilidad se conoce como “first mile and last mile”: el pasajero tiene que desplazarse hasta la estación más cercana para acceder al tren y desde la estación a su casa o lugar de trabajo, y la mercancía tiene que transportarse previamente hasta y desde esa estación para poder ser transportada.
- Falta de armonización en lo legislativo y normativo: Aunque, como veremos más adelante, se hacen esfuerzos importantes en Bruselas por crear un marco jurídico para el transporte ferroviario en toda la Unión Europea, el consenso entre los diferentes países es difícil y lento. Todos los países tienen su propia regulación del sector que intentan adaptar a la nueva realidad y a las exigencias de Europa. España, por ejemplo, tiene unas leyes totalmente obsoletas que poco se adecuan a la situación actual. Existe una cierta inercia y resistencia a modificar lo que mal que bien funciona. Hay faltas de estandarización de los elementos ferroviarios, siendo muy dependientes de los fabricantes o suministradores ferroviarios. Además de la falta de experiencia en la certificación, en la que se pierde mucho tiempo, también hay necesidad en la armonización de las reglas de ingeniería y funcionalidad de la implantación del ERTMS. También hay falta de unificación de ratios, cuya función es la comparación de diferentes proyectos. Y, por último, existe una gran dificultad en la reutilización del material antiguo en las nuevas normativas.
- Escasez de recursos: El agotamiento de recursos supone un riesgo para todo el sector ferroviario. Prioridad es utilizar productos energéticamente más eficientes, como materiales más ligeros o la desmaterialización, entre los que cuentan los combustibles alternativos; la industria ferroviaria debería pensar en la economía circular, etc.¹¹
- Resistencia al cambio: Nos encontramos ante una cultura tradicional, en la que las tendencias innovadoras, en general se toman cuando hay alguna legislación o exigencia que obligue a cambiar los métodos de trabajo. La incertidumbre ante las posibles ventajas de inversión en I+D+i, junto a la percepción de que innovar es costoso y poco rentable, alimentan la resistencia al cambio del sector ferroviario

¹¹“Tendencias de ecoinnovación-Movilidad ferroviaria. El ferrocarril del futuro, eficiencia y mitigación del cambio climático” de la Secretaría Técnica del Laboratorio de Ecoinnovación (inèdit)

C) Amenazas

Casi desde su origen, el ferrocarril se enfrenta a una feroz competencia con otras formas de transporte (como ya anticipamos en el apartado II.2). A consecuencia de esta competencia, el tren ha perdido cuota de mercado tanto en transporte de mercancías como de personas al menos desde los años 70 del siglo pasado. En los últimos años esta tendencia se ha acelerado, entre otros, por los siguientes factores:

- Otros métodos de transporte: El transporte aéreo *low-cost* ha ganado mucha cuota de mercado frente al ferrocarril en el transporte de medio y largo recorrido. En igual sentido los autobuses de largo recorrido se han convertido en una alternativa creíble frente al tren. Nuevos modelos de negocio como Uber o Cabify están transformando el transporte urbano y afectando también al ferrocarril urbano (metro y tren de cercanías).
- Sin embargo, la mayor amenaza para el ferrocarril es el vehículo eléctrico autónomo, hasta el punto de que se ha considerado que podría no merecer la pena seguir invirtiendo en el tren puesto que en un futuro, quizá podría ser sustituido por el automóvil, autobús y camión autónomos (para el transporte de personas y de mercancías, respectivamente).

La gran pregunta en este momento es; ¿van a barrer del mapa los coches autónomos a los trenes autónomos o viceversa? Ambos sectores están protagonizando una carrera hacia la autonomía de la conducción en la que, el sector ferroviario, a fecha de hoy, está en una fase más avanzada. El desarrollo del tren y metro autónomo son una prioridad en la Unión Europea que, junto a Japón y EEUU disponen de la tecnología más moderna.

En Francia, el **SNCF** -de propiedad estatal- está desarrollando un proyecto llamado “Drone Train” con tecnología punta muy parecida a la que se aplica en el desarrollo de coches autónomos. Algo parecido sucede en Alemania donde **Deutsche Bahn** prevé disponer de trenes ya totalmente autónomos como tarde en 2023. También en Reino Unido está invirtiendo mucho dinero en el desarrollo de los trenes autónomos (**Rail Capability Plan**) poniendo el foco sobre todo en la seguridad.¹² En general se piensa que, a pesar de que coches y trenes autónomos entren en competencia, va a haber mercado para todos; veremos más adelante cómo está cambiando el concepto de movilidad y cómo los diferentes medios cada vez van a estar más interconectados de manera que, más que competir se van a complementar.

Hay estudios que sostienen que en las horas punta en zonas urbanas el metro va a seguir siendo hegemónico por ser el más económico, frente al coche autónomo que se

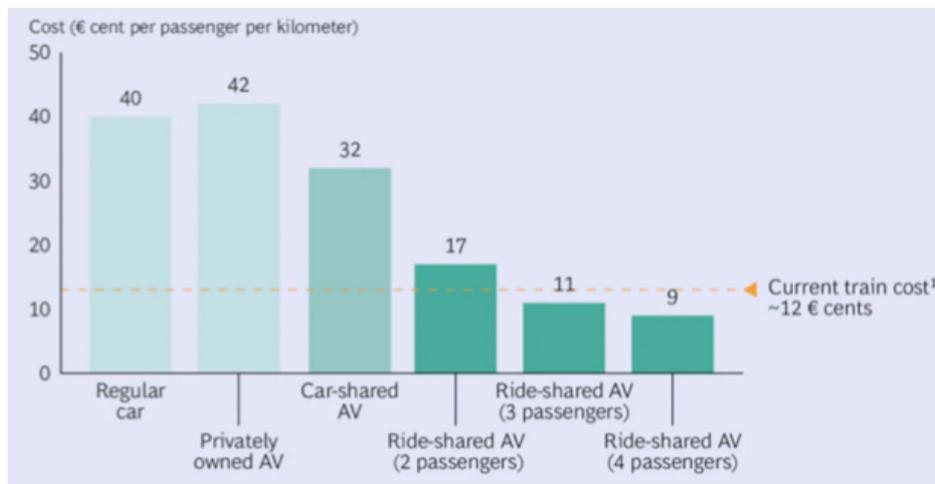
¹² “Autonomous cars are a passé. Let’s talk about autonomous trains!” de Ananya Narain, 19 de junio 2017

impondrá en horas de poca actividad urbana.¹³ Los escépticos con el tren autónomo piensan que las altas inversiones que van a demandar las infraestructuras y el material rodante digitalizados van a repercutirlas en el usuario, convirtiendo el tren en un transporte caro y -dicen algunos- poco rentable.

En la carrera por el desarrollo de vehículos autónomos nadie se quiere quedar atrás... Empresas como Tesla, Google y un sinfín de Start Ups están uniendo esfuerzos en el desarrollo de software e inteligencia artificial para coches autónomos. El gran argumento de hoy en día a favor del tren, es que posibilita otras actividades, así leer, trabajar, dormir, comer, etc.; todo esto con el coche autónomo en un futuro también será posible. Los esfuerzos por mejorar la seguridad-segundo argumento a favor del tren como veíamos- también son remarcables. Tecnología punta va a mejorar la eficiencia de los coches, reduciéndose los engorrosos atascos.¹⁴

El siguiente gráfico muestra una comparativa de coste de transporte urbano en coche tradicional, coche autónomo privado, coche autónomo compartido, viaje compartido por 2 viajeros en CA, viaje compartido por 3 viajeros en CA, viaje compartido por 4 viajeros en CA y coste de tren autónomo.

Gráfico 10: Relación de los costes de acuerdo al tipo de transporte



Fuente: Análisis de BCG

¹³ "Self-driving cars are going to beat up on trains, too" de David Dudley, 3 de octubre 2016

¹⁴ "Will Autonomous Vehicles Derail Trains?" de Joël Hazan, Niklaus Lang, Peter Ulrich, Jeffrey Chua, Xanthi Coubara y Thomas Steffens, 30 de septiembre 2016

Salvo en hora punta que el metro siempre resultará ser la forma de transporte más barata, en hora “no punta” el gráfico nos muestra que el metro autónomo entra en clara competencia con el coche compartido autónomo en el momento en el que el que 2, 3 o 4 pasajeros comparten trayecto.

En el transporte de pasajeros en trayectos no urbanos, el tren autónomo seguirá siendo más económico que el coche autónomo, salvo que el coche autónomo tenga una ocupación de 3 o más pasajeros. En este punto hay que tener en cuenta que la repercusión que tiene la tecnología automatizada en el precio de un vehículo nuevo (3% o 4% más que lo que costaría un vehículo tradicional) es comparativamente mayor a la que tiene en el tren autónomo nuevo.

- Por su parte, los fabricantes europeos de material ferroviario se enfrentan a una creciente competencia de terceros países, sobre todo de China y otros países asiáticos. Este aspecto fue especialmente debatido en la frustrada fusión del negocio ferroviario de Siemens y Alstom, recientemente prohibido por la Comisión Europea por el riesgo que esta concentración implica para la competencia.
- Las redes ferroviarias tienen que competir con otras infraestructuras que los Estados pudiesen considerar más prometedoras y menos costosas: las terminales portuarias y aeroportuarias, las facilidades para el aterrizaje de drones, y la red vial para el transporte terrestre. Enfrentados a severas restricciones presupuestarias, los Estados sobre-endeudados pueden considerar que el dinero de sus contribuyentes estará mejor invertido en desarrollar alternativas al ferrocarril.
- No se está produciendo una liberalización acompañada del sector ferroviario dentro de Europa, lo cual nos hace menos competitivos a nivel interior como a nivel mundial (Apéndice 5) .

D) Oportunidades del ferrocarril

El mundo moderno y sus retos globales también presenta evidentes oportunidades para el ferrocarril¹⁵:

- El crecimiento demográfico demanda más y mejores infraestructuras para el transporte de personas y mercancías; hay estudios que pronostican un aumento mundial del transporte de mercancías por ferrocarril del 100% en el año 2050 (*Railway 2050- Global Railway Review*). Por otro lado crece la periferia de las

¹⁵ “A sustainable future for transport” de la Comisión Europea de 2013

grandes ciudades que demanda medios de transporte para acceder al centro. Hoy en día un 54% de la población mundial vive en ciudades; según estimaciones de Naciones Unidas en 2050 será un 66%, estimando también, que la población mundial aumentará en 2,5 billones sobre todo entorno a ciudades (fundamentalmente en Asia y África habrá muchas mega-ciudades¹⁶ con más de 10 millones de personas);¹⁷ el crecimiento económico de muchos países en vías de desarrollo va a favorecer el desarrollo de su red de transporte ferroviaria ofreciendo enormes oportunidades para el sector en el futuro.

- Inmigración: en las próximas cinco décadas se calcula que llegarán a Europa 55 millones de migrantes; serán en su mayoría jóvenes que vivirán en la periferia urbana y que mantendrán vínculos con sus países de origen, fomentando lazos económicos y culturales entre Europa y los países de procedencia. Importante en este sentido será la oferta de medios de transporte para el desplazamiento continuo de personas entre países, mayor del que ya existe hoy en día.
- Envejecimiento de la población : una población envejecida (sobre todo en el primer mundo) demanda medios de transporte más seguros, fiables, de mayor confort y prácticos en caso de movilidad reducida; en 2060 la media de edad de la población europea habrá aumentado en 7 años y el número de personas de 65 años o más supondrá un 30% frente al 17% de hoy en día. Aunque la gente mayor tiende a viajar menos, el hecho de que hoy en día la salud de nuestros mayores ha mejorado, las facilidades y opciones para viajar son mayores y el dominio de idiomas extranjeros también ha aumentado, es de esperar que nuestra población -aún envejecida- viaje mucho. Para ella el tren ofrece una alternativa muy atractiva.
- Integración con otras formas de transporte: del transporte a la movilidad. Es interesante observar cómo está cambiando nuestro concepto de movilidad: si antes elegíamos normalmente un medio de transporte determinado para nuestros desplazamientos urbanos y para viajes, hoy en día tenemos un concepto mucho más amplio y flexible: combinamos medios de transporte (metro, car-sharing, coches de alquiler, bicicletas, patinetes, Uber, motos de alquiler, autobús, etc.); buscamos medios económicos, eficientes y ecológicos para realizar nuestros desplazamientos. Ya no existe entre la gente joven la necesidad de comprar un coche (resulta cara la adquisición, el mantenimiento, etc.), ya no es una prioridad para ellos tener un permiso de conducir. Ser “proveedor de movilidad” con capacidad tecnológica para almacenar y cruzar datos en tiempo real para facilitar y combinar los diferentes

¹⁶ “Future of rail 2050” de arup, de 2018

¹⁷ “9 major factors shaping the future of the rail industry” de Smartrail World, de 2019

tipos de movilidad para los clientes, va a ser una interesante fuente de negocio en el futuro(*Future of Rail 2050* y *Challenge 2050. The Rail Sector Visión*).

- Desarrollo de nuevas tecnologías: en la carrera por ofrecer un medio de transporte “autónomo”, el ferrocarril está bien posicionado. En trenes urbanos ya se ha conseguido y, funcionan en la actualidad, y para el transporte ferroviario de media y largas distancia la tecnología ya está muy avanzada. El tren autónomo, todo parece indicar, verá la luz antes que otros medios de transporte.

III. RESPUESTAS DEL SECTOR FERROVIARIO A LOS NUEVOS

III.1 RESPUESTAS TECNOLÓGICAS

La revolución tecnológica en el transporte en general, y en el ferrocarril en particular, se asienta en las nuevas tecnologías digitales y de automatización (lo que los anglosajones denominan “*enabling technologies*”), que combinan nuevas formas de interconexión y comunicación (“*vehicle-to-vehicle and vehicle-to-network communication*”), Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas (“*Internet of Things*” o IoT), robótica, conducción autónoma (“*autonomous driving*” or “*autonomous operations*”, ATO), block-chain, Big Data, *cloud computing*, las mejoras en telefonía móvil (tecnología 5G)¹⁸, los wearables, las redes sociales y la economía colaborativa (“*carsharing*”), entre otras.¹⁹ Excedería con mucho del propósito de este trabajo hacer un resumen de esas nuevas tecnologías pero el Apéndice 3 incluye un breve glosario de términos utilizados en este estudio.

III.1.1 Digitalización en el transporte ferroviario

El sector del transporte, como las demás industrias y actividades, tiene que hacer frente a los nuevos retos que supone el óptimo aprovechamiento de las nuevas tecnologías. Hasta el punto de que -al decir de los expertos- se sitúa en la etapa más crucial de su ya larga historia.

El “International Transport Forum” estima que para 2050 la movilidad de pasajeros a nivel mundial habrá crecido entre un 200% y un 300% y el transporte de mercancías entre un 150% y 200%. Encontrar soluciones inteligentes para poder aumentar la capacidad de transporte de pasajeros y mercancías es, pues, una absoluta necesidad.²⁰ El cambio tan vertiginoso que se está produciendo en la industria 4.0 hace difícil vislumbrar cuál va a ser el panorama del sector

¹⁸ “A Roadmap for Digital Railways” de CER, de 26 de abril 2016

¹⁹ “Future Rail: Emerging technologies to effectively manage growing rail networks” de Trapeze, Whitepaper

²⁰ “Future of Rail 2050” de arup, de 2018

del transporte, por ejemplo, en 2050. En cualquier caso, nos vamos a centrar ahora en los cambios que ya ha producido la digitalización en el sector y los que se esperan a muy corto plazo.

Todos los medios de transporte -por carretera, ferroviario, aéreo y marítimo se ven afectados por la digitalización y la automatización. Las respuestas tecnológicas, decíamos, impactan tanto en el transporte de pasajeros como en el de mercancías, en las infraestructuras y en la gestión del negocio.

En el sector ferroviario, al igual que muchas otras industrias, tenemos cuatro palancas principales que favorecen la transformación digital y la transformación de los modelos de negocio.

Gráfico 3: Palancas del sector ferroviario



Fuente: elaboración propia

El primer elemento de la transformación digital es la **interconectividad**. Las empresas ferroviarias ofrecen hoy en día servicios con elevados niveles de productividad y eficiencia, manteniendo bajos los costes.²¹²² La interconectividad pretende sincronizar todas las cadenas de distribución mediante el establecimiento de una red de telecomunicación por banda ancha de toda la cadena de valor añadido, acortar los plazos de producción y los ciclos de innovación.²³

El segundo pilar de la transformación tecnológica es la utilización masiva de **datos digitales**. El almacenamiento, procesamiento y la evaluación de datos digitalizados en el sector ferroviario ofrecen estimaciones mucho más precisas, la posibilidad de anticiparse a futuros comportamientos del mercado y agilidad en la toma de decisiones. El Big Data en el transporte ferroviario puede llegar a ser un negocio muy lucrativo en el futuro. Disponer de datos susceptibles de ser vendidos, será muy interesante.

La interconexión de muchos elementos en el *internet de las cosas* ha aumentado exponencialmente. Ofrece a la industria ferroviaria, sin duda, la posibilidad de desarrollar nuevos modelos de negocio.

²¹ "Digital Railway Strategy" de Digital Railway, de abril 2018

²² "Digitalisierung: „Intelligente, innovative, vernetzte Systeme sind gefragt" de Allianz pro Schiene, de 6 julio 2017

²³ "Challenge 2050-The Rail Sector Vision" de Community of European Railway and Infrastructure Companies(CER), European Infrastructure Managers(EIM) y International Union of Railways (UIC), de febrero 2013

El tercer elemento de la transformación es la **automatización**. La combinación de tecnologías clásicas con inteligencia artificial favorece la creación de sistemas cada vez más autónomos, capaces de organizarse a sí mismos, de manera que sus índices de error disminuyan, aumente la velocidad y se reduzcan los gastos empresariales.

La introducción de la red 5G mejorará la conectividad y contribuirá a que en un futuro próximo tengamos trenes -ya no metros que ya lo son- parcial o totalmente autónomos. Los ATO (*automatic train operations*) serán los que hagan funcionar los trenes de manera autónoma.

Por último, la transformación busca la **interacción digital con el cliente**. A través de internet, nuevos intermediarios tienen acceso directo a clientes ofreciendo máxima transparencia y servicios novedosos al igual que el cliente tiene acceso rápido y directo a los servicios que le interesan.

La web 3.0 ya ofrece publicidad personalizada y búsquedas inteligentes. Los usuarios pueden acceder a todo tipo de información desde cualquier dispositivo o aplicación en la nube. El big data, por otro lado, ayuda al sector ferroviario a ofrecer servicios personalizados, es decir, adaptados a cada cliente.

III.1.2 Digitalización en las infraestructuras ferroviarias

Las nuevas tecnologías generan indudables mejoras para las redes ferroviarias en varios aspectos²⁴:

- Capacidad por conectividad. Ante la creciente demanda y saturación de las infraestructuras ferroviarias solo caben dos respuestas²⁵: incurrir en cuantiosas inversiones en nuevas redes y tramos, o aumentar la capacidad (en términos de tráfico por tramo y tiempo). El aumento de capacidad sólo es posible con redes crecientemente integradas e inteligentes, y esto se sustenta en la conectividad. Hasta épocas recientes, la infraestructura ferroviaria era “ciega” o “tonta” (“*dumb networks*”) en el sentido de ignorar que circulaba cuándo por sus vías. La conectividad, sobre todo “*vehicle-to-network*” permite superar esta limitación. De esta forma el desarrollo tecnológico está convirtiendo las infraestructuras civiles en sistemas inteligentes y prácticamente funcionan de forma invisible por las TIC.^{26, 27} Estos modernos sistemas hacen que el transporte sea más seguro, más eficiente e integrado (“*Future of Rail 2050*”, *Arup 2018*).

²⁴ “Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible-Libro Blanco” de la comisión europea, del 28 de marzo 2011

²⁵ “How technology Drives the Future of Rail” de Association of American Railroads

²⁶ “Connected Train and Customer Communications: Rail and Digital Industry Roadmap” de RSSB, Saul Friedner, Richard Womersley and Toby Treacher; LS telcom UK, de enero 2018

²⁷ “La digitalisation dans le secteur ferroviaire” de Emmanuel Autier

- Reducción de costes de mantenimiento^{28,29,30}: Las infraestructuras ferroviarias son muy caras tanto en la inversión inicial como en su mantenimiento. La conectividad, los nuevos sistemas de sensores y la predicción basada en big data también permiten reducir sustancialmente estos costes e introducir sistemas de “*predictive maintenance*” que superan el coste y tiempos de interrupción del tráfico del tradicional “*reactive maintenance*”.³¹
- Proyectos como la European global navigation satellite systems (Galileo and EGNOS) se están encargando de extender las redes tradicionales ahí donde aún hace falta y transformarlas en redes inteligentes.³²
- Las estaciones de tren y de metro, tradicionalmente lugares de paso, se están convirtiendo en espacios modernos y atractivos, dotados de paneles informativos que ofrecen información en tiempo real de servicios ferroviarios, con conexión a internet, lugares confortables de recreo y ocio, a los que se saca una gran rentabilidad.

III.1.3 Las nuevas tecnologías aplicadas al material rodante: mantenimiento y los ATO (*Automatic Train Operations*)

El funcionamiento óptimo de los sistemas de transporte ferroviarios se produce cuando hay una integración e interoperabilidad de cada una de las partes a la red ferroviaria.

La digitalización y automatización del tren ha tenido su impronta en los siguientes aspectos:

- En primer lugar, en la construcción de nuevos equipos, en los materiales que se han utilizado para su fabricación, en su eficiencia energética y en la reducción de su impacto ambiental.
- También en el mantenimiento del material rodante³³: los trenes se ponen en marcha por control remoto y se comunican electrónicamente entre sí. Se ajustan, adaptan y trabajan de forma autónoma y son flexibles. Se consigue una mayor eficiencia y se reducen los costes. Estos nuevos sistemas -que se fabrican mediante impresión 3D- permiten procesos de control mucho más seguros y avanzados. Robots inteligentes intervienen en la construcción de nuevas infraestructuras ferroviarias, tales como túneles y puentes, y para el mantenimiento de las existentes. Las máquinas excavadoras automatizadas, por

²⁸ “A Roadmap for Digital Railways” de CER, 26 de abril 2016

²⁹ “A digital manifesto for Europe’s railways” de International Railway Journal, de 2017

³⁰ “Digital Railway Strategy” de Digital Railway, de abril 2018

³¹ “A sustainable future for transport-towards an integrated, technology-led and user-friendly system” de la Office of the European Union

³² “A sustainable future for transport-towards an integrated, technology-led and user-friendly system” de la Office of the European Union

³³ “The digitalization of mobility” de Innotrans, de septiembre de 2016

ejemplo, disponen de sensores que facilitan información sobre el estado del cableado de las infraestructuras en pos de una mayor seguridad. En un futuro próximo, se utilizarán también pequeños robots en las diferentes áreas, tanto en la fabricación de trenes como en las infraestructuras; estarán interconectados pero ejecutarán trabajos independientes favoreciendo el trabajo a gran escala.³⁴

- En el desarrollo del tren autónomo (*self-driving train*), capaz de moverse parcial o totalmente de forma autónoma. Presentes en al menos 36 países del mundo (sobre todo en el metro urbano) aún no se ha desarrollado suficientemente la tecnología para los trenes de medio y largo alcance, aunque llegará en un futuro próximo. En los trenes autónomos hay una perfecta interconexión entre los trenes y entre los trenes y las infraestructuras (“*train-to-train*” y “*train-to-network*”); la operatividad es máxima.³⁵

En este punto habría que mencionar que, aparte del tren autónomo se están desarrollando “nuevos trenes” inteligentes que, sin duda, revolucionarán aún más el sector del transporte ³⁶ :

- Trenes hidrógenos. Son trenes completamente libres de CO₂, que transforman el hidrógeno en energía mecánica, bien quemando hidrógeno por combustión o bien por reacción de hidrógeno con oxígeno en una batería en motores eléctricos.
 - Lanzaderas de carga. Son tuberías bajo la tierra que transportan mercancías en cápsulas eléctricas (ya hay numerosos prototipos en fase de desarrollo)
 - Trenes Maglev. Se trata de un tren de alta velocidad con líneas magnéticas que se propulsa por levitación. Existen ya en Shangai o Birmingham.
 - Hyperloop. Transporte aeroespacial inventado por Elon Musk para el transporte de mercancías y pasajeros, explicado con más detenimiento en el [Apéndice 4](#).
- Por último, en la seguridad de los trenes. El porcentaje de accidentes ferroviarios, ya hemos visto, es muy bajo y en la mayoría de los casos están causados por fallos humanos.

III.1.4 Impacto para los fabricantes y proveedores

Las nuevas tecnologías también tendrán efectos relevantes para los fabricantes (OEMs):

- En el “*supply chain management*” y la contratación de suministros por los operadores a través de la tecnología *blockchain*

³⁴ “Transportation Research Part C” de elsevier, de 2017

³⁵ “Future of rail 2050” de arup, de 2018

³⁶ “5 fascinating future rail trends and when we can expect to see them” de smartrail world, de 2017

- En su responsabilidad respecto de la calidad y seguridad de los equipos, de su mantenimiento - ahora medible por Big Data- y del seguimiento de los equipos durante toda su vida útil, lo que permite fijar precios en función de resultados.

III.1.5 Impacto para el cliente

El transporte de personas y mercancías está cada día más centrado en el usuario y sus necesidades. Las nuevas tecnologías han revolucionado la relación de las operadoras ferroviarias con el cliente (la llamada “*client experience*”) en muchos aspectos:

- En la contratación de los servicios tanto de transporte de pasajeros como de mercancías que se realiza de forma creciente por medios digitales (apps, plataformas de compra);
- En el pago del servicio, también por medios digitales y, en futuro, posiblemente a través de medios virtuales basados en la tecnología del blockchain;
- En los servicios ofrecidos al cliente: conexión permanente a Internet (todavía una gran baza competitiva frente al avión), entretenimiento a bordo, recogida y entrega del pasajero o la mercancía a domicilio o desde la empresa del cliente, etc.
- En reclamaciones y seguimiento de mercancías.

Un ejemplo de lo que significa esto en la práctica es el proyecto Anubis G4 de la empresa ferroviaria Transfesa, una aplicación informática multilingüe para la gestión de la mercancía en tránsito. A los clientes se les permite seguir la mercancía a lo largo de toda la cadena logística; desde el contrato del servicio al cliente, hasta la facturación y entrega del mismo. Dice Bernd Hullerum, Consejero Delegado de Transfesa, que “ para ellos es una gran satisfacción continuar aportando soluciones innovadoras al sector [ferroviario], optimizando sus operaciones y asegurando la calidad del servicio a sus clientes”.

Todas las empresas ferroviarias emplean ya asistentes virtuales para la atención al cliente. Facilitan información valiosa al cliente y resuelven muchas dudas relacionadas con coste, almacenaje, etc. de las mercancías. Se reducen notablemente los tiempos de espera para la solución de dudas y problemas. Los asistentes virtuales hacen de valioso filtro a los empleados, a los que sólo les llegan aquellos problemas más complejos que no presentan una solución standard.

III.1.6 Impacto en los operadores ferroviarios

Los operadores ferroviarios tradicionales tienen el desafío de dar respuestas estratégicas, organizativas y tecnológicas de manera más rápida y eficaz, algo indispensable en un mercado muy competitivo y con clientes mucho más exigentes. Esto exige una apuesta fuerte y sin

dilación por la digitalización. Los nuevos operadores privados ya utilizan nuevos modelos de *peer-to-peer*³⁷ (red de ordenadores en la que todos o algunos aspectos funcionan sin clientes ni servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan como iguales entre sí. Es decir, actúan simultáneamente como clientes y servidores respecto a los demás nodos de la red) que optimizan los modelos operativos en el campo de la logística (*Transport as a Service, TaaS*) como en el transporte de personas (*Mobility as a Service, MaaS*).³⁸

Otro ejemplo muy gráfico de empresa tradicional en pleno proceso de cambio es Renfe: preocupada por la liberalización del mercado ferroviario, ha buscado el apoyo de numerosas start ups tecnológicas para mejorar los campos de la movilidad, la digitalización de las operaciones y la logística.

III.1.7 Block-chain y su impacto en el sector ferroviario

Como venimos diciendo, en un futuro próximo ya todos los trenes serán autónomos, estarán completamente automatizados y dispondrán de tecnología geoespacial.

El sector ferroviario se está transformando a una velocidad vertiginosa, no solamente para cumplir con la normativa europea, sino simplemente para sobrevivir. Se están desarrollando aplicaciones como Quorum (adaptación blockchain de JP Morgan) cuya función es automatizar los procesos de seguridad industrial ferroviaria. Esta sería la primera aplicación de blockchain en el sector de transporte.

El blockchain es y será aún más en un futuro próximo, una valiosa herramienta para eliminar intermediarios: productores y consumidores se coordinarán directamente y de forma masiva, “over the counter”; el cliente tendrá control sobre toda la cadena digitalizada de suministro. El blockchain facilitará la toma de decisiones, reducirá los riesgos, agilizará los procesos de producción -que cada vez serán más inteligentes y estarán más automatizados-, ofrecerá nuevas vías de facturación y, sobre todo, ahorrará en costes.³⁹

El blockchain es una herramienta que reduce tiempo y costes y que abre nuevas oportunidades de negocio ferroviario⁴⁰, aunque tampoco faltan opiniones críticas que minimizan su impacto en la industria (así River Tamoor Baig, Chief Executive and Founder de Hack Partners).

³⁷ “A digital manifesto for Europe’s railways” de Unife, de 2017

³⁸ “Digitalisation in Rail Transport” de Jana Pieriegud, de 2018

³⁹ “ La digitalización: el futuro de la cadena de suministro” de Rubén Belluomo, 11 de diciembre de 2018

⁴⁰ “The Current Impact of Digitisation on the Rail Industry” de Railway News, 3 de octubre de 2018

III.2 INTEGRACIÓN DE OPERADORES

Las nuevas tecnologías permiten, y las inversiones que requieren en ocasiones exigen, la integración de operadores ferroviarios. En un mercado europeo ya totalmente liberalizado es de esperar que los operadores se agrupen y centralicen actividades compartiendo tecnología punta en cada área, para ser más competitivos frente a terceros y aumentar los beneficios.⁴¹

Con ello se armoniza el sector y se fomenta la desverticalización de las empresas. La estandarización e interoperabilidad, además, son clave para poder utilizar el mismo sistema de señalización fuera de las fronteras. Unificando los sistemas, se reducirán incidencias⁴²

Gigantes tecnológicos, OEMs (*Original Equipment Manufactures*) y start ups tecnológicos están creando plataformas multimodales, que ofrecen opciones de fácil uso para el intercambio online de información útil para el cliente (relacionados con planificación, reservas, pagos, servicios adicionales a bordo, etc.) como para los operadores.⁴³

III.3 INTEGRACIÓN CON OTROS MEDIOS DE TRANSPORTE

La nueva interconectividad también permite superar algunas de las debilidades del ferrocarril, por ejemplo el problema del “*first mile/last mile*”^{44,45}. Los operadores ferroviarios se están aliando con otros agentes (de *car sharing*, *bicycle sharing*, etc.) y lo harán en el futuro con el vehículo autónomo, para facilitar al cliente desplazarse o transportar sus mercancías de o hasta la estación de origen o destino, reservando al tren el transporte de medio o largo recorrido.

III.4 RESPUESTAS NORMATIVAS

Como anticipamos, los otros dos pilares de la transformación del sector ferroviario lo constituyen la liberalización del sector y su integración a nivel europeo. Por motivos obvios no podemos detenernos en analizar estos aspectos pero no nos resistimos a incluir un breve resumen de esta material en el Apéndice 5.

El Libro Blanco del secretario de Estado de Transporte británico sobre el futuro del ferrocarril⁴⁶, aunque antiguo (2004) y específicamente para el Reino Unido, resulta muy interesante porque regula el proceso de liberalización de su mercado ferroviario y ha servido de modelo posteriormente para otros países europeos en procesos similares.

⁴¹ “Digital Single European Railway Area: How do we get there?” de Andrea Camazi, 27 de noviembre 2015

⁴² “High-speed railway and the digital future” de González, Ricardo

⁴³ “Digital transformation in the Rail Industry” de BCG, Henning Schierholz

⁴⁴ “What do we know about the “first mile/last mile” problem for transit?” de David A. King de 2016

⁴⁵ “Digital transformation in the Rail Industry” de BCG, Henning Schierholz

⁴⁶ “The Future of Rail-White Paper” de The Stationary Office (TSO) de 2004

Otro hito fue el Libro Blanco de la Comisión Europea de 2011 que establece la “Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte⁴⁷: por una política de transporte competitiva y sostenible”. En él se establece un marco normativo que ha servido de punto de arranque para posteriores regulaciones.

Al margen de la regulación del sector ferroviario a nivel nacional y europeo, creo que no podemos olvidar las implicaciones éticas que tiene para este sector subirse al tren de la digitalización y la liberalización del mercado; no es fácil traducir a leyes aquello que es difícilmente objetivable, que concierne a la dignidad humana y al desarrollo personal en el mundo moderno. En un mundo en constante transformación, además, cuesta anticipar lo que va a suceder y muchas veces nos limitamos a poner remedio “jurídico” a situaciones negativas sobrevenidas.⁴⁸ Cuando digo esto, tengo en mente la sustitución masiva y a corto plazo de robots por capital humano, la negociación a la baja de salarios para trabajos de bajo valor añadido fácilmente sustituibles por máquinas, el tratamiento de datos de trabajadores y clientes, etc.

Un dato que me parece muy interesante es que la ingeniera industrial hoy en día desarrolla “maquinaria ética”, es decir, maquinaria programada para actuar de una determinada manera en función de las consecuencias que se deriven de situaciones determinadas.

IV. IMPACTOS DE LA DIGITALIZACIÓN

Las nuevas tecnologías producen, como hemos venido diciendo, efectos muy beneficiosos para el ferrocarril y para la sociedad en su conjunto. Además de los que ya resultan de la descripción de las tecnologías en los apartados anteriores, debemos centrarnos ahora en las mejoras de eficiencia y de consumo energético y, por ende, a la reducción de la contaminación.

Entre los efectos negativos citaré la destrucción de empleo -de la que hablará más adelante- y la desigualdad entre regiones según estén conectadas por red ferroviaria digitalizada y moderna.

IV.1 MEJORAS DE EFICIENCIA

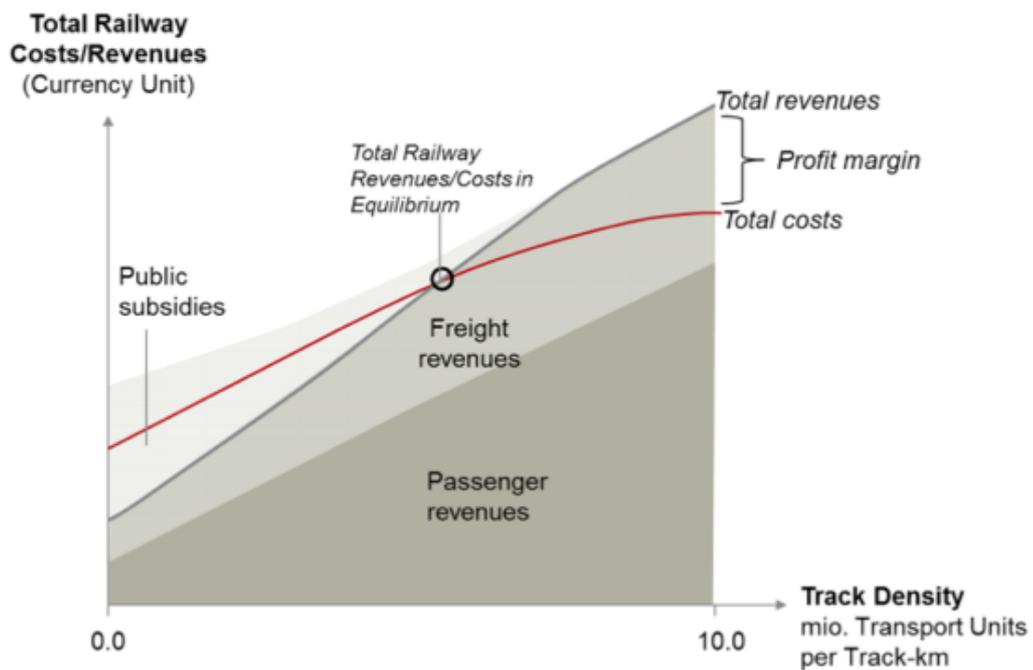
Aunque ya lo hemos mencionado marginalmente en el apartado anterior, quisiera hacer algunas consideraciones relativas a la mejora de la eficiencia del sector ferroviario, diferenciando infraestructuras y operadores ferroviarios. En ambos casos los ingresos y gastos van por separado; lo “eficiente” será maximizar los ingresos y minimiza los costes. Jan Swier (experto en asset management, outsourcing and benchmarking) ha creado un modelo genérico de

⁴⁷ “White paper 2011” de la comisión europea

⁴⁸ “Railway efficiency” de Arne Beck, Heiner Bente, Martin Schilling de civity Management Consultants GmbH & Co., de 2013

ingresos y costes para todo el sistema ferroviario con el fin de visualizar la relación entre ingresos, gastos y subvenciones públicas en este sector.

Gráfico 4: Representación simplificada de los ingresos/costes del sistema ferroviario



Fuente: civity Management Consultant, inspirado en Swier

El gráfico nos indica que, a medida que aumenta el volumen de mercancía transportada, los ingresos crecen de forma lineal. Según Swier, la eficiencia se alcanza en el punto de cruce, en el que costes e ingresos son los mismos. Cuanto mayor es el volumen de mercancía transportada, mayor es la ganancia por unidad de moneda invertida.⁴⁹

Este gráfico, perfecto en teoría, no nos sirve en la práctica para medir los niveles de eficiencia del sector ferroviario en los diferentes países, porque los criterios que se utilizan para medirla son diferentes: diferencias en la utilización de activos, en la valoración de la productividad laboral, del coste/beneficio, etc.

En cualquier caso no hay unanimidad de criterios entre los países a la hora de definir la eficiencia. Algunos países miden la eficiencia en función de que sean poco dependientes de la

⁴⁹ Railway efficiency” de Anne Beck, Heiner Bente, Martin Schilling, de civity Management Consultants GmbH &Co., de 2013

inversión pública, frente a otros que valoran también la aportación que el sector ferroviario hace a la economía del país, su contribución a políticas de movilidad, el servicio social y medioambiental que desarrollan, lo cual es difícilmente cuantificable en términos económicos.

Independientemente de las diferentes interpretaciones de eficiencia, sí podemos enumerar una serie de aspectos, para los que la digitalización del sector ferroviario ha supuesto un gran avance⁵⁰:

- Los altos costes iniciales que conlleva la implantación de sistemas DTO (*Driverless Train Operations*) se rentabilizan pronto por el ahorro en mantenimiento y personal⁵¹ (desarrollo en el apartado III.1). El tren de cercanías sueco, por ejemplo, dispone de un sistema llamado “the commuter prognosis”: big data permite revisar el tren por completo dos horas antes de que se ponga en marcha siendo capaz de detectar posibles futuras incidencias, subsanar fallos y evitar así males mayores⁵².
- La creciente interconexión de las infraestructuras ferroviarias y del material rodante tiene un efecto muy positivo: se maximizan los recursos y se reducen los costes.
- La estrecha conexión entre el material rodante tiene el mismo efecto. Se habla mucho de la digitalización “machine-to-machine”(M2M): los trenes disponen de sensores y software para automatizar tareas y monitorizar análisis a tiempo real.⁵³ Siemens, por ejemplo, utiliza un software en sus trenes, que anticipa incidencias en los diferentes vagones, el propio sistema es capaz, en muchas ocasiones, de subsanarlas. Un ejemplo: si la puerta de uno de los vagones se cierra más lentamente que las del resto, su sistema operativo lo detectará de inmediato y facilitará su arreglo antes que esta incidencia pudiera provocar retrasos en el transporte. Esta tecnología “reduce un 30% los retrasos, reduce los gastos de mantenimiento y reduce también de un 10% a un 15% el consumo de combustible.” (Gerhard Greiter, Director de Líneas Ferroviarias en Siemens).

Los trenes, como vemos, ya disponen de medios robóticas -como el auto-diagnóstico y capacidades de auto-reparación- que evitan interrupciones en los servicios⁵⁴.

- Los sistemas DTO aumentan también la flexibilidad operativa: son capaces de ajustar perfectamente la disponibilidad de trenes a la demanda de los pasajeros; responden, por ejemplo, de inmediato ante una congestión puntual (partido de fútbol, etc.), aumentando el número de trenes/vagones sin necesidad de aumentar el número de empleados.

⁵⁰ “Urban Rail Transit” de Springer

⁵¹ “Impact of Digitalization on the Rail Freight Industry” de NVOCCs & Freight Forwarders”

⁵² “9 major factors shaping the future of the rail industry” de smartrail world, de 2019

⁵³ “Future of Rail 2050” de arup, de 2018

⁵⁴ “Rail 2050 Vision. Rail- Backbone of Europe’s mobility” de ERRAC, de 2017

- Desde el centro externo de operaciones se controla toda la información concerniente al tren de forma simultánea: número de pasajeros, puntualidad, seguridad, velocidad media, consumo energético, etc.; el propio sistema analiza todos estos datos y ofrece soluciones que aumentan seguridad, puntualidad, etc. en el transporte.
- La digitalización ayuda a la contención de los gastos operativos. Disponer de datos muy precisos con bastante antelación, favorece la toma de medidas que producen un ahorro de los gastos fijos. Un ejemplo, si una manifestación aumenta la demanda puntual de transporte en metro y, como consecuencia, la demanda de electricidad, se podrá contratar con la empresa suministradora de electricidad, en tiempo real y de forma puntual, un aumento de kilovatios a un precio determinado y mantener una contratación de kilovatios más baja para el transporte habitual.
- En el caso de los trenes: programar una velocidad de crucero produce un ahorro en combustible.

La facilidad que tienen los usuarios hoy en día de operar online (consulta de servicios, horarios de trenes, compra de billetes, etc.) ahorra muchos gastos de personal y ahorros de tiempo

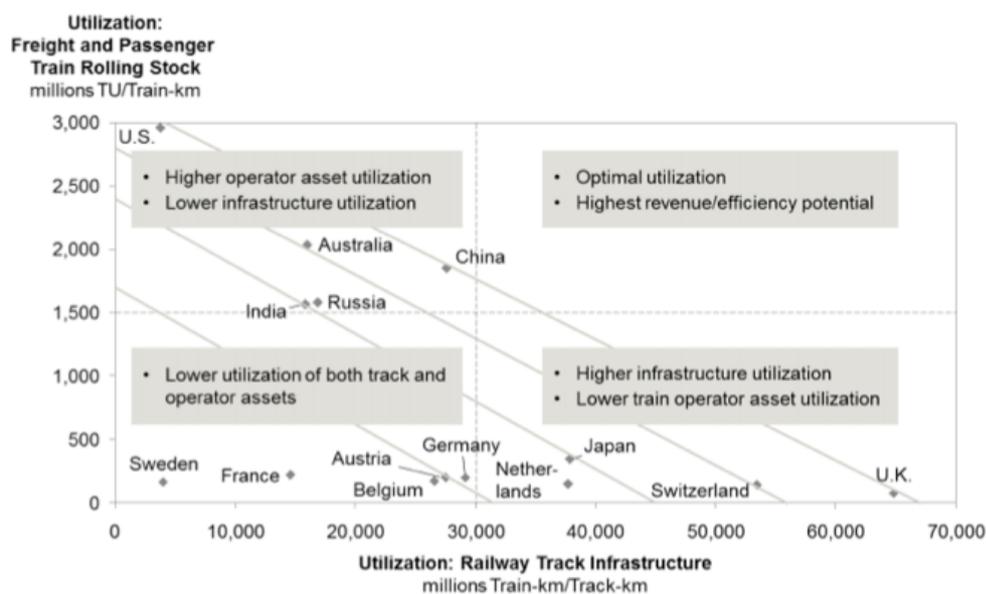
- El transporte en trenes/metros automatizados, menos largos, que pasan con más frecuencia, resultará mucho más práctico para el pasajero y hará que aumente el número de usuarios.

Cuanto más intensivo sea el uso de las infraestructuras y del material rodante (*rolling stock*), antes se amortizarán los gastos generados por la digitalización y mayor será la eficiencia del sector.

Con unos costes fijos de mantenimiento y una depreciación de los costes de los bienes, es crucial utilizar cada kilómetro de recorrido. Algunos estudios han demostrado que un alto uso de los bienes tiene un impacto positivo sobre el transporte de mercancías. El gráfico debajo muestra esta combinación de uso de los bienes, según diferentes países: el uso de la infraestructura frente a la capacidad de uso de los trenes.⁵⁵

⁵⁵ "Railway efficiency" de Arne Beck, Heiner Bente y Martin Schilling de 2013

Gráfico 5: Nivel de utilización de infraestructuras ferroviarias y material rodante por países, 2011



Fuente: Civity Management Consultant benchmarking analysis, based on UIC Railway Data 2011

Resulta interesante comprobar las grandes diferencias que hay entre países en la utilización de los bienes ferroviarios. EEUU, Australia y algunos países de Europa (Francia, Alemania, etc.) no hacen un uso óptimo del rolling stock de pasajeros y mercancías, no aprovechan todo el potencial que el tren podría tener.

IV.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

En los últimos años, y sobre todo en el primer mundo, hay una gran preocupación con el cambio climático y el impacto que tiene en el medio ambiente y en nuestra salud. Desde la política se impulsan medidas para mejorar la calidad del medio ambiente a corto, medio y largo plazo, y en los sectores industriales se hacen esfuerzos importantes por desarrollar modelos de negocio menos contaminantes o, dicho casi eufemísticamente, más respetuosos con el medio ambiente (*ecofriendly*).^{56,57}

⁵⁶ "Railway 2050" de Global Railway Review, 6 de septiembre 2016

⁵⁷ "Challenge 2050-The Rail Sector Vision" de Community of European Railway and Infrastructure Companies(CER), European Infrastructure Managers(EIM) y International Union of Railways (UIC), de febrero 2013

La Unión Europea ha adoptado recientemente un importante paquete de medidas concernientes al clima y a la energía destinadas a reducir las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente en un 20% con respecto a 1990. Para cumplir este objetivo es fundamental la evolución del sector del transporte.^{58,59}

Si partimos de la base que las grandes ciudades europeas, en general, disponen de una amplia red de metro y una red ferroviaria muy extensa, parece lógico que busquemos su mínimo impacto medioambiental (*zero carbon footprint*), con emisiones de PM10 y NOx (óxidos de nitrógeno) cada vez menores y 0 emisiones de carbono. Hoy en día se han encontrado alternativas al diesel como el hidrógeno y el LNG, cuyo precio es más bajo y sus emisiones de CO2 también. Whilst Alstom está desarrollando en la actualidad nuevos tipos de fuentes de energía para trenes totalmente libres de emisiones de CO2.⁶⁰

Pero, ¿cuál es el impacto medioambiental real del sector ferroviario?

La realidad es que el ferrocarril inteligente es muy poco contaminante. En España, por ejemplo, si un viajero utiliza el tren, está consumiendo 5 veces menos combustible que si viajase por carretera, y 20 veces menos que si utilizase un avión.⁶¹ Así mismo, transportar una tonelada/km por ferrocarril consume 4 veces menos combustible que si el transporte se hiciera por carretera y 1380 veces menos que por avión.⁶² Renfe aseguró, que redujo entre 1990 y 2009 en un 45% sus emisiones (por unidad transportada).

Un dato interesante en este contexto: big data ha contribuido a mejoras de eficiencia en el uso de petróleo, reduciendo el efecto nocivo sobre el medioambiente. ¿Cómo se ha conseguido? Las vías de tren utilizan programas de ordenador avanzados, denominados “sistemas de administración de gasolina”, capaces de optimizar totalmente el consumo de combustible en los trayectos realizados por los trenes. Estos sistemas también están integrados en el tren: ofrecen recomendaciones, en tiempo real, a los ingenieros sobre el comportamiento del consumo de combustible en función de la topografía del trayecto, las curvas que se trazan, el peso y la longitud del tren, los efectos del viento, etc. Con estos sistemas se consigue un ahorro de hasta un 14% del combustible.

⁵⁸ “Informe de la comisión al parlamento europeo y al consejo” de la comisión europea, de 2016

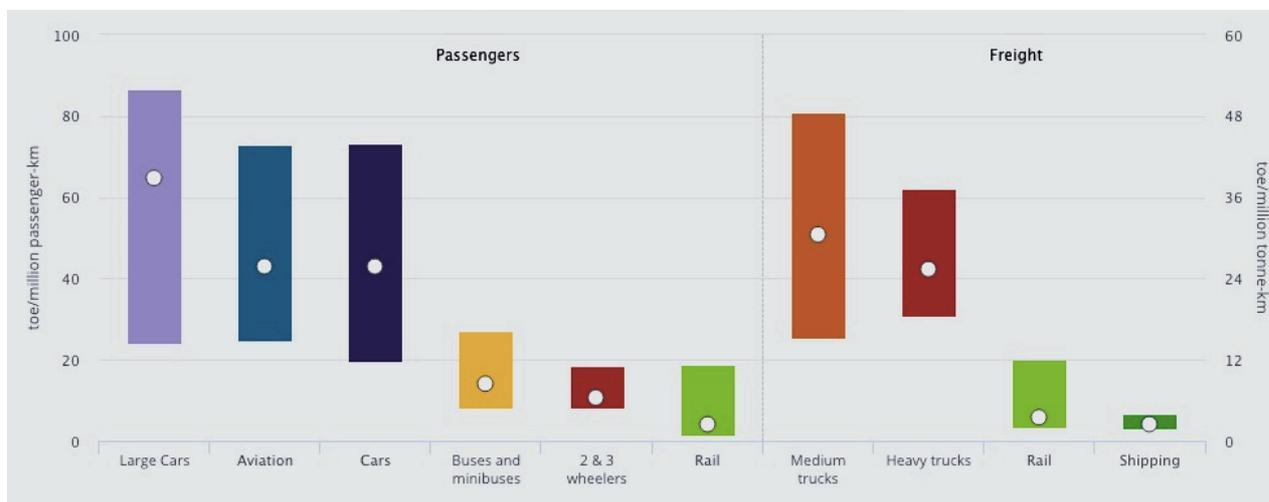
⁵⁹ “A sustainable future for transport” de la Comisión Europea de 2013

⁶⁰ “Rail 2050 Vision. Rail- The Backbone of Europe’s Mobility” de ERRAC, de 2017

⁶¹ “Guía para la gestión del combustible - en las Flotas de Transporte por Carretera” del Ministerio de Fomento con soporte técnico de la escuela superior de ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid

⁶² datos facilitados por la compañía de Adif, Ministerio de Fomento

Gráfico 6: Intensidad de uso y eficiencia energética de los diferentes medios de transporte para pasajeros y mercancías



Fuente:International Energy Agency,2016

El tren es el método de transporte terrestre energéticamente más eficiente, tanto para pasajeros como para mercancías. Si el sector ferroviario representa el 8% de todo el transporte a nivel mundial, tan solo demanda un 2% del total de energía a nivel mundial.⁶³ El sector ferroviario disfruta -entre todos los métodos de transporte- del mayor grado de digitalización.

La sostenibilidad también se busca en las infraestructuras ferroviarias. ¿Cómo se consigue? Optimizando su uso, como veíamos, y convirtiendo dichas infraestructuras en “multimodales e inteligentes”, es decir, aprovechándolas para otros usos como por ejemplo, almacenamiento de mercancía, recarga de coches eléctricos, centros comerciales en estaciones, etc.

En los últimos años también se habla mucho de la contaminación acústica. El impacto que los ruidos y las vibraciones de los trenes producen también está disminuyendo, no presentando un problema importante o siendo, en cualquier caso, inferior al de otros métodos de transporte. Renfe afirma haber conseguido reducir notablemente las emisiones acústicas en los últimos años.

⁶³ “The future of rail” de Dr.Faith Birol,IEA, de 2016

IV.3 EFFECTOS EN EL EMPLEO

Antes de entrar en este punto, voy a recoger algunas dudas y afirmaciones que solemos escuchar cuando hablamos del tema:

“Algo similar ocurrió en la primera revolución industrial: se produjo un desplazamiento de la mano de obra del campo a las ciudades, en las que estaban las fábricas [...]. En EE.UU en 1800 el campo daba trabajo a más del 30% de la población; hoy no ocupa a más del 2%, siendo la producción agrícola muy superior a la de entonces. En la actualidad pasará algo parecido: poco a poco se ajustará la oferta a la demanda de trabajo.” (Eduardo Serra, Vicepresidente de EVERIS).

“Los robots por supuesto que pueden reemplazar a personas para hacer el mismo trabajo. Pero se necesitan muchos ingenieros que los desarrollen, programen, gestionen y administren” (Juan Pedro Moreno, Presidente de ACCENTURE).

“¿Tendrán los usuarios de robots que tributar por ellos en pos de la justicia y cohesión social?”

“Sin duda vamos a tener 2 áreas de problemas:

1. Aquellas personas activas que no puedan/sepan/quieran reciclarse
2. Los jóvenes que no aprovechen las oportunidades educativas para estar preparados para las demandas que va a haber en el futuro.” (Juan Arrizabalaga, CEO de ALTADIS).

“En 15 a 20 años, la mitad del empleo, tal y como lo conocemos, desaparecerá y en 3 a 4 décadas nadie más va a trabajar, por lo menos por dinero” (Karl-Heinz Land, experto digital)

Como podemos ver, hay mucha incertidumbre en este punto. Lo que parece claro es que nos encaminamos hacia una paulatina y masiva destrucción de empleo. La digitalización se considera “un proceso social en construcción” en el que el efecto sobre el empleo se está produciendo ya.

El gran reto para nuestros empleados de hoy en todos los sectores, es subirse al tren de la digitalización, reciclarse, formarse en las nuevas tecnologías. Uno de los problemas en España es el bajo nivel de competencias digitales de nuestros empleados, jugando un papel importante la edad, el sexo, el nivel y tipo de formación, el nivel de renta, etc.⁶⁴

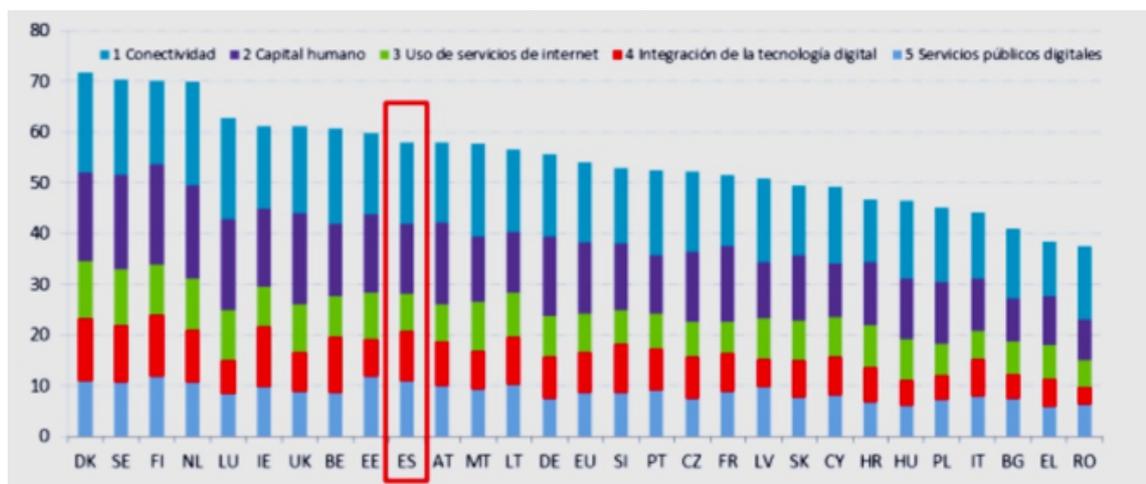
También en el sector ferroviario son más vulnerables aquellos empleos de escaso valor añadido, (“empleo masivo”) de baja remuneración y fácilmente reemplazables por máquinas.

⁶⁴ “Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction” de Nastaran Dadashi, Anita Scott, John R Wilson, Ann Mills, de 2013

Reciclarse y estar “a la última” en los avances tecnológicos que afectan a todas las áreas de la sociedad no va a ser una recomendación sino una obligación: pienso ahora, en la noticia del accidente del Boeing 737 MAX 8 ocurrido, precisamente, porque pilotos experimentados en la aviación no dominaban el software de los aviones (mismo caso que en otro accidente ocurrido cinco meses atrás). Algo parecido podría ocurrir, por qué no, en otros medios de transporte como el ferrocarril.

El siguiente gráfico muestra el índice de digitalización de la Economía y la Sociedad en los diferentes países europeos. En España ocupa un puesto intermedio. Lo que me interesa en este gráfico -y por lo que lo cito en este punto- es la visión que nos ofrece del peso relativo del capital humano en una economía y sociedad digitalizadas.

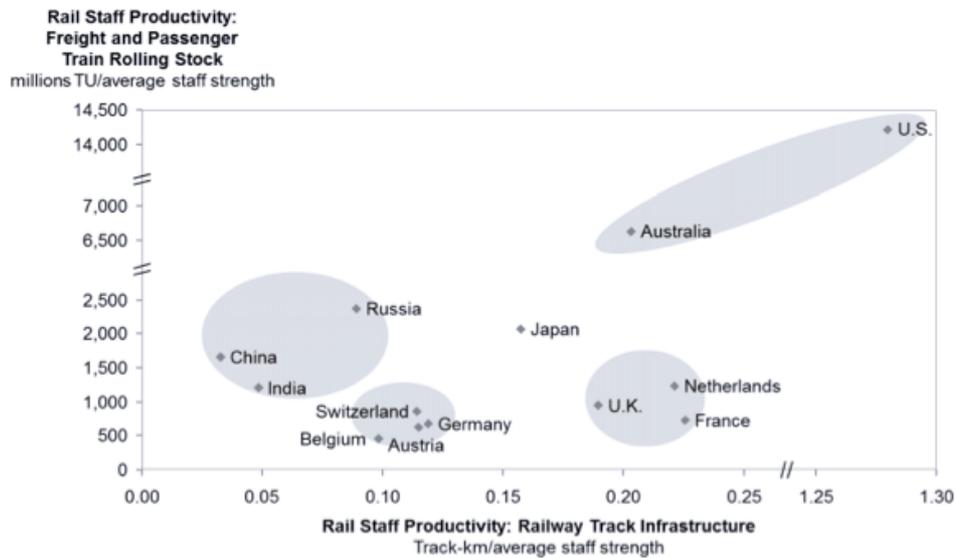
Gráfico 7: Clasificación del Índice de la Economía y la Sociedad Digitales (DESI) de 2018



Fuente del Índice de la Economía Digital elaborado por la Comisión Europea en 2018⁶⁵

⁶⁵ “Plan digital 2025-Digitalización de la sociedad española” de la ceoe, 24 de septiembre de 2018

Gráfico 8: Productividad laboral del sector ferroviario en diferentes países



Fuente: Civity Management Consultant: benchmarking analysis, extraído de UIC Railway Data 2011

El gráfico compara el número de personas empleadas para el transporte de personas y mercancías en diferentes países del mundo; no separa ambos tipos de transporte cuando en la realidad sí que hay diferencias: el transporte de personas requiere más empleados que el de mercancías (hay que satisfacer las demandas del cliente, ayudarle en las reservas, etc.). Observamos que en la India, China y Rusia la eficiencia laboral es baja. El gráfico también muestra que EEUU, Rusia y China transportan el mayor volumen de mercancías. Comparativamente es insignificante el transporte ferroviario de pasajeros en EEUU comparado con otros países en los que también es elevado el transporte de mercancías. De ahí que la eficiencia en gastos de personal sea tan alta en los EEUU. Si a los bajos gastos de personal añadimos una tecnología puntera en el transporte de mercancías, obtenemos el alto nivel de eficiencia que muestra el gráfico.

En definitiva, si la digitalización en todos los sectores está destruyendo empleo, en el sector ferroviario -altamente digitalizado- este fenómeno se está produciendo también de manera significativa. Ojalá tengan razón aquellos que afirman que en aquellos sectores productivos en los que las personas sean protagonistas -por ejemplo el transporte ferroviario de pasajeros- nunca se va a prescindir del empleo humano, porque la propia sociedad lo demanda así. Las personas buscan la cercanía de las personas...pero la realidad es que la tecnología de hoy en

día ya permite un funcionamiento casi autónomo de los trenes. El futuro laboral habrá que buscarlo en aquellos sectores que desarrollan y comercializan las nuevas tecnologías.⁶⁶

En el primer mundo, de aquí a 10 años, nos encontraremos ante una situación de envejecimiento de la población: tendremos dificultades para retener talento -habrá muchas jubilaciones- y habrá demanda de gente joven bien formada.⁶⁷ Los ingenieros y técnicos ya no tendrán habilidades puramente mecánicas, deberán combinar el conocimiento técnico con formación en el desarrollo y manejo de sistemas informáticos específicos del sector.

En el caso de nuestro país me preocupa especialmente que al desempleo estructural que históricamente padece España -caso singular dentro de la Unión Europea- se añada el que produzca la inexorable digitalización de nuestra industria, comercio, etc.

En cualquier caso me parece imprescindible que pongamos todo el empeño en que se produzca una transición justa, lo menos traumática posible y socialmente sostenible.

IV.4 EL RETO DE LA CIBERSEGURIDAD

Los sistemas actuales de protección de GSM-R (sistema de comunicación digital inalámbrico) y las instalaciones de ERTMS (sistema europeo de la gestión del tráfico ferroviario) protegen adecuadamente la red ferroviaria de ciberataques, según el Instituto Nacional de Ciberseguridad.

Aunque según *“el reto de la ciberseguridad: análisis en las infraestructuras ferroviarias”*⁶⁸ se consigue un nivel aceptable de seguridad informática en los diferentes sectores de toda la red ferroviaria, si es cierto que, a veces, surgen problemas cuando se quiere poner en común los sistemas de seguridad para toda la red en su conjunto. Es el gran reto del momento: desarrollar el big data para ofrecer seguridad global para el sector frente a posibles ciberataques.

A pesar del relativo optimismo al respecto, es cierto que en la transición de elementos tradicionales a elementos digitales resulta muy complicado excluir un ataque cibernético. El hecho de estar permanentemente conectado a internet nos hace asumir riesgos: robo de información tanto comercial como personal, perturbación de servicios, impacto en las cadenas de suministro, interrupción en los movimientos de mercancías, cuando no un sabotaje generalizado.

Otro reto a tener en cuenta: el incremento del uso de los sistemas informáticos, hace necesaria una auditoría y control periódicos de la seguridad ferroviaria ante posibles vulnerabilidades.

⁶⁶ “Diese menschlichen Skills sind in Zukunft gefragt”, de WirtschaftsWoche, enero de 2019

⁶⁷ “Digital Railway Strategy” de RT Hon Chris Grayling MP, Secretary of State for Transport, abril de 2018

⁶⁸ “El reto de la ciberseguridad: análisis en las infraestructuras ferroviarias” de Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernández-Caramés y Luis Castedo, de noviembre 2017

Además es preciso controlar el acceso Wifi para poder evitar fraudes online, descargas ilegales, etc.⁶⁹

Los avances en el mundo digital son tan rápidos, que los riesgos y amenazas siempre están ahí: en el año 2015, por ejemplo, hubo un ciberataque a la red eléctrica ucraniana que afectó a un millón de personas. Unos sistemas de control totalmente automatizados y autónomos también se exponen más a ataques cibernéticos y, de hecho, en los últimos años han aumentado estos de forma notable.⁷⁰

Los operadores ferroviarios tienen un dilema: invertir en ciberseguridad o invertir en innovación para mantener la ventaja competitiva. Deben saber aprovechar la gran capacidad que ofrecen las redes públicas, tanto las de carácter fijo como las móviles. Entre estas últimas se encuentran las redes móviles 4G-LTE, esenciales para el óptimo control de los trenes y la información de los pasajeros.⁷¹

Aunque hoy en día los sistemas de seguridad de los que disponemos funcionan bien, el constante desarrollo de la tecnología puede suponer un riesgo para

- el sistema interlocking basado en el CBI (*Computer-based Interlocking*); sistemas de señalización, creados para intervenir e identificar los problemas en rutas conflictivas
- la conexión entre el tren y el centro de control, a través de un jammer GSM
- las WSN (*Wireless Sensor Networks*) y las redes inalámbricas (base de la infraestructura de comunicaciones)

Esta realidad obliga al sector a hacer inversiones constantes en ciberseguridad: un ataque a sus sistemas podría tener unos efectos devastadores. La ciberseguridad no afecta sólo a la operatividad de los trenes y las infraestructuras sino también a su gestión comercial del sector.

En un estudio que se ha realizado entorno a la seguridad del sistema ferroviario y la de los usuarios, se habla sobre la necesidad de desarrollar un “Plan Director de Seguridad” en el que se identifiquen y cataloguen todos los riesgos cibernéticos para el sector. Dicho estudio también incide en la necesidad de desarrollar un sistema de gestión de seguridad de la información, que mejore la gestión de la información y minimice los riesgos internos y externos. Los CSIRT (*Computer Security Incident Response Team*) deberán realizar controles más estrictos y periódicos para la protección de las infraestructuras de las redes públicas.⁷²

⁶⁹ “Innovación en la seguridad del sistema ferroviario: protección al sistema y la ciudadanía” de diciembre 2018

⁷⁰ “Digitalización ferroviaria: Ciberseguridad” de Thales, del 13 de julio 2018

⁷¹ “El reto de la ciberseguridad: análisis en las infraestructuras ferroviarias” del Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEI+d) de 2017

⁷² “Reforzar el sistema de ciberseguridad en Europa y promover una industria de la ciberseguridad competitiva e innovadora” de la Comisión Europea del 5 de julio 2016

V. FUTURO DEL SECTOR FERROVIARIO: ¿MERECE LA PENA LA APUESTA POR EL SECTOR?

V.1 GANADORES Y PERDEDORES DE LA DIGITALIZACIÓN

Las redes ferroviarias han tenido un impacto importante sobre la planificación urbanística y el desarrollo de las ciudades. Aquellas ciudades que se han quedado al margen de la red ferroviaria, claramente se han visto afectadas en su desarrollo económico. Generalmente, el ferrocarril se ha establecido en ciudades más importantes o en aquellas poblaciones de paso hacia dichas ciudades. El establecimiento de la red ha servido de elemento integrador de los mercados nacionales, cuya finalidad principal fue, y es aún hoy en día, conectar puertos, zonas industriales, lugares estratégicos para las exportación, para el turismo, etc.; los lugares que han quedado excluidos están en clara desventaja competitiva.⁷³

Como decíamos, cada vez serán mayores las ciudades en el mundo, lo cual exigirá un mayor desarrollo de las redes ferroviarias urbanas y de cercanías a dichas megaciudades e irá en detrimento de las inversiones en infraestructuras destinadas a regiones periféricas; los recursos no son ilimitados.

Paralela a la brecha socioeconómica existente entre los diferentes países, tenemos una gran brecha digital: el desarrollo las TIC (*Tecnologías de la Información y Comunicación*) tiene un impacto directo sobre la sociedad en su conjunto. Parámetro importante para medir el grado de desarrollo de un país, es el nivel de digitalización de los diferentes sectores de su industria. Los países europeos ricos, por ejemplo, capaces de impulsar el desarrollo tecnológico y adquirir tecnología punta, tienen una inmensa ventaja competitiva y es de esperar que la brecha entre regiones ricas y pobres aumente en el futuro aún más. El grado de desarrollo de infraestructuras ferroviarias inteligentes contribuye a ello.

Las TIC posibilitan, también, optimizar recursos, ofrecen nuevas y valiosas oportunidades culturales, mejoran la inclusión social y, sobre todo, son una valiosa herramienta que potencia la competitividad. El lado negativo, decíamos, es que también produce una mayor fragmentación entre países y regiones ricas y pobres.

El informe de la UNESCO, *Universalidad de Internet: un medio para crear sociedades del conocimiento y la agenda de desarrollo sostenible después de 2015*, incide precisamente en los riesgos y retos que Internet genera, produciendo mayores fracturas

⁷³"Ferrocarril, Territorio y ciudades" de la revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales de la universidad de Barcelona" del 15 de abril 2007

entre ricos y pobres⁷⁴. El informe habla de un nuevo tipo de pobreza denominada “pobreza informacional”, en la que los países más pobres de la UE (Rumanía, Polonia, etc.) no tienen los medios suficientes para subirse al mismo ritmo al tren de la digitalización.

Llegado hasta este punto, resulta fácil determinar quiénes son y serán los ganadores y perdedores de del sector ferroviario:

Los grandes ganadores, sin duda, serán aquellos países que -con recursos públicos, privados o compartidos- apuesten por un transporte ferroviario liberalizado y moderno. Ganarán los usuarios (como pasajeros y remitentes de mercancías) que disfrutarán de un medio de transporte moderno que ofrecerá interesantes y cómodos servicios, ganará la seguridad (aunque exista el riesgo de ciberataques), debería ganar el medioambiente, y ganarán algunas grandes empresas de fabricación de material rodante y de transporte - básicamente las incumbentes- pero también nuevas start-ups con nuevos modelos de negocio que se sitúen a la cabeza de la transformación tecnológica, así como los grandes grupos de logística y distribución. Perderán -al menos a corto o medio plazo- los trabajadores menos cualificados, perderán los países o regiones que queden al margen de las grandes redes de transporte ferroviario digitalizado, perderán los contribuyentes que tendrán que afrontar las significativas inversiones en infraestructura que requiere la nueva era digital, y perderán las empresas que no puedan afrontar las inversiones en material rodante o en nuevas tecnologías de transporte, o que no consigan beneficiarse del efecto de red y de las sinergias de la digitalización.

A pesar de este balance desigual, concluiremos que las ventajas del nuevo ferrocarril digitalizado, automatizado y robotizado superarán sus inconvenientes; que el ferrocarril debe jugar un papel muy relevante en la movilidad y la logística del siglo XXI y que, por tanto, en efecto merece la pena invertir en este sector ferroviario.

⁷⁴ “Brecha Digital,Pobreza y Exclusión Social” de Sofía Olarte Encabo

VI. CONCLUSIÓN

Comenzaba este trabajo con una serie de preguntas a las que creo he ido dando respuesta de manera detallada a lo largo de mi estudio.

A modo de conclusión podemos afirmar:

1. El transporte ferroviario constituye un elemento importante en la movilidad de personas y mercancías en el siglo XXI. La debilidad principal de este tipo de transporte son los elevados costes de infraestructura y mantenimiento, que exigen un aprovechamiento óptimo de los bienes para que sean rentables las fuertes inversiones que requieren. Todo esto, sin descuidar la fuerte competencia que en materia de movilidad existe hoy en día y que, sin duda, aumentará con los nuevos medios de transporte que se están desarrollando. Otra debilidad, aunque menor que la que acabamos de mencionar, es el “first mile-last mile”. Las modernas formas de movilidad provistas de altos niveles de informatización interactuarán y se complementarán de forma inteligente, habiendo espacio para todos.

Los grandes fuertes del ferrocarril son la gran contribución que hace la red ferroviaria a crear amplios espacios bien intercomunicados que favorecen el desarrollo económico de un territorio.

Esto, junto a que energéticamente es el medio de transporte terrestre más eficiente y menos contaminante –factores muy importantes en el mundo actual- lo hace imprescindible entre los diferentes medios de movilidad existentes.

2. Para mantener e incluso mejorar esa competitividad se exige una clara apuesta por a digitalización y la automatización de la infraestructura, del material rodante y demás equipos, y de la organización del transporte ferroviario.

Para ello, hay que decir, que el ferrocarril está muy bien posicionado: disponemos ya de trenes urbanos autónomos y el nivel de automatización de los trenes de media y larga distancia ya es muy alto. Siendo el nivel de digitalización en todos los ámbitos de la industria ferroviaria alta, debemos, no obstante, seguir invirtiendo en su desarrollo, dado que los demás sectores del transporte lo está haciendo de manera similar. Aprovechar los adelantos vertiginosos en tecnología digital en los diferentes sectores del transporte no es solo una recomendación sino una absoluta necesidad si se quiere sobrevivir en el escenario actual y futuro del transporte.

3. La respuesta a la tercera pregunta es positiva: Europa en general y España en particular deben invertir en el ferrocarril del futuro porque no se pueden permitir “perder el tren” de la revolución digital que se está produciendo, también, en este sector. Aun siendo así, habrá en el proceso de cambio ganadores y perdedores y nuestro gran reto es anticiparnos y favorecer el reciclaje de nuestros empleados, para poder manejar la tecnología que

demanda la industria 4.0, fomentar las formaciones que demandan las nuevas tecnologías, y tener la sensibilidad social de poner en el centro de cualquier actuación la dignidad humana para dar respuestas justas, socialmente aceptables y económicamente asumibles para todas aquellas personas que “no consigan subirse al tren“ de la 4. Revolución Industrial.

Creo que es erróneo pensar que sólo van a sobrevivir aquellos medios de transporte que mejor respuestas den a las necesidades de movilidad que hoy en día tiene el mundo. A treinta años vista, y considerando que aún va a haber un fuerte crecimiento demográfico, es de esperar que haya espacio para las diversas formas de movilidad existentes, que se complementen gracias a los avances que hoy en día ofrece la tecnología.

El transporte ferroviario, en mi opinión, seguirá siendo competitivo con otras formas de transporte y sus ventajas superarán con creces sus inconvenientes.

APÉNDICE 1

EL SECTOR FERROVIARIO EN ESPAÑA

La red ferroviaria española se comenzó a construir en la segunda mitad del siglo XIX por una sociedad local, la Gran Compañía Española del Camino de Hierro, bajo protección de S.M la reina doña María Cristina. Las obras de infraestructura, sin embargo, las realizaron ingenieros británicos, que se ocuparon del material rodante, el equipo, y la gestión financiera y comercial. La única línea que funcionaba en 1850 era de Barcelona a Mataró con tan solo 29 kilómetros de separación; sólo se dedicaba al transporte de pasajeros y fue rentable. Realmente hasta 1856-65 no se comenzó a construir una red ferroviaria intensa y accesible a varios destinos españoles. Las razones de la tardanza fueron: falta de capital, falta de conocimientos técnicos, atraso económico en general, obstáculos geográficos, acontecimientos políticos y económicos adversos (Guerra Carlista y la crisis de 1847-48).

El gobierno en el año 1855 promulgó la Ley de Ferrocarriles, en la que se ofrecía numerosos incentivos a la construcción ferroviaria. Esta ley, a su vez, establecía que el Gobierno podía pagar subvenciones a aquellas compañías que invirtiesen en el sector ferroviario.⁷⁵

Hasta el día de hoy, la industria ferroviaria española se ha ido desarrollando y modernizando y hoy cuenta con una red ferroviaria de más de 15.200 kilómetros. Las empresas encargadas de la administración de la infraestructura ferroviaria son ADIF (Administración de Infraestructuras Ferroviarias) y ADIF- Alta Velocidad (encargada de la red convencional y la red de altas prestaciones.⁷⁶)

Un papel importante desempeña RENFE Operadora, no solamente en el sector ferroviario español, sino también a nivel mundial. Es la única operadora ferroviaria de pasajeros en España y, en cuanto al transporte de mercancías, se posiciona entre las principales del país.

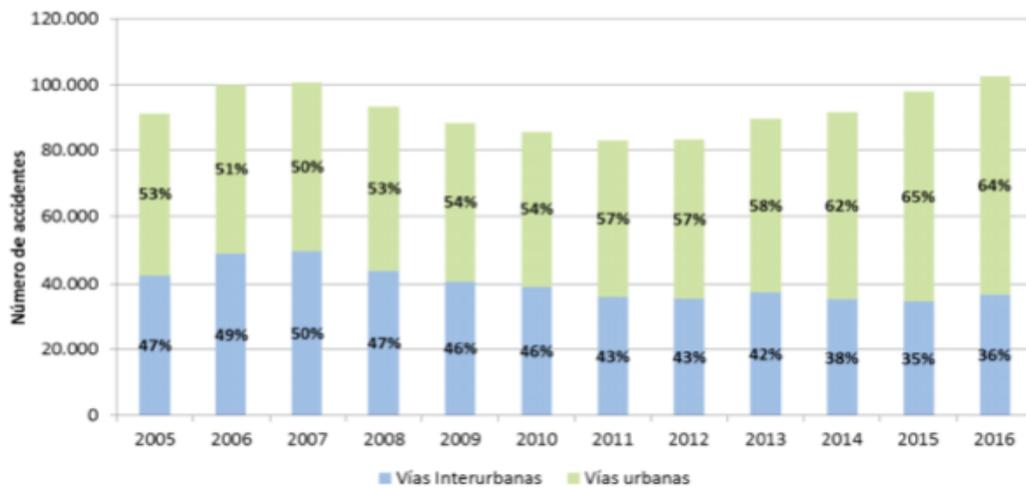
Ambas empresas pertenecen al Grupo Fomento, del Ministerio de Fomento, siendo así propiedad del Estado. No obstante, se está procediendo a liberalizar el sector lo cual viene detallado en el **apéndice 5**.

⁷⁵ "Los orígenes del capitalismo en España" de Gabriel Tortella Casares, de 1973

⁷⁶ "MAFEX y el sector ferroviario español" de la Asociación Ferroviaria Española

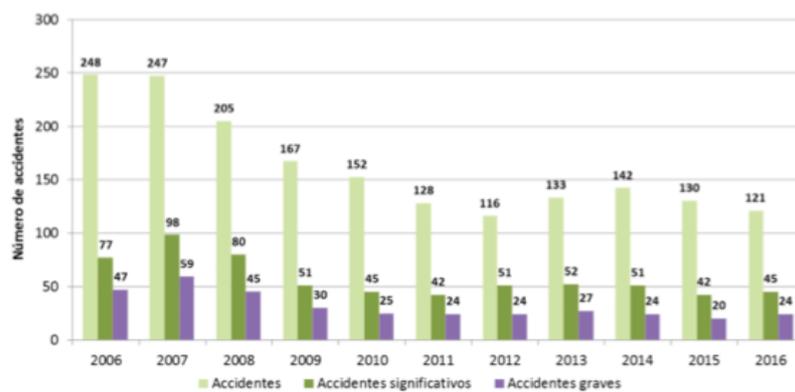
APÉNDICE 2

Gráfico 9: Evolución de accidentes con víctimas en **carretera** (vías urbanas e interurbanas) 2005-2016.



Fuente: Dirección General de Tráfico. Ministerio de Interior

Gráfico 9.2: La Evolución del número de accidentes, accidentes significativos y accidentes graves en el transporte **ferrocarril**. 2006-2016

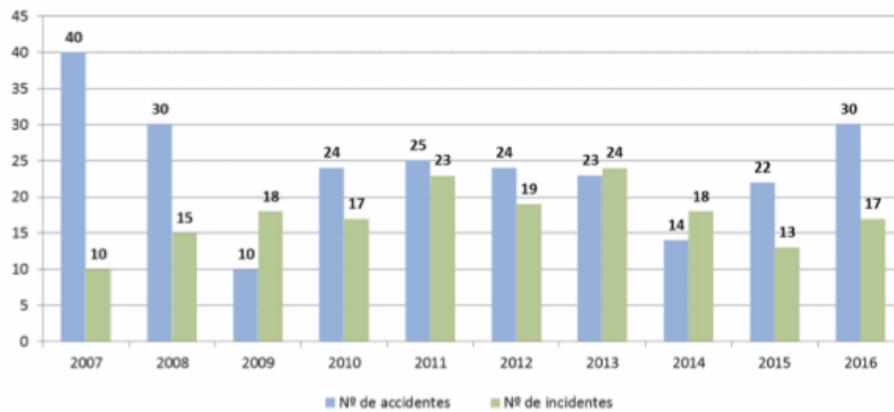


Fuente: Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. Ministerio de Fomento

Si comparamos los gráficos vemos que el transporte por ferrocarril es notablemente más seguro que el transporte por carretera.

No obstante, el transporte aéreo es el que menos accidentes sufre de los tres: en 2007 hubo 40 accidentes aéreos frente a 247 ferroviarios y 100.000 en carretera.

Gráfico 9.3: Número de accidentes e incidentes **aéreos**. 2007-2016



Fuente: Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil. Ministerio de Fomento

APÉNDICE 3

GLOSARIO DE TÉRMINOS DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

- **Automatización:** es el uso de sistemas o elementos informatizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales (incluye: los sensores, sistemas de transmisión y recopilación de datos, las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar operaciones)⁷⁷
- **Big Data:** término evolutivo que describe cualquier cantidad voluminosa de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados que tienen el potencial de ser extraídos para obtener información⁷⁸
- **Blockchain:** es una base de datos distribuida que registra bloques de información y los entrelaza para facilitar la recuperación de la información y la verificación de que ésta no ha sido cambiada. Los bloques de información se entrelazan mediante apuntadores hash que conectan el bloque actual con el anterior y así sucesivamente.⁷⁹
- **Cloud computing/ Internet de la nube:** posibilidad de ofrecer nuestros servicios a través de Internet, busca tener todos nuestros archivos e información en Internet, sin preocuparse por poseer la capacidad suficiente para almacenar información.⁸⁰
- **Digitalización:** en el contexto socio-económico, se entiende como el proceso en el que las tecnologías digitales y las tecnologías informatizadas (*computer-based technologies*) pueden ser utilizadas por la sociedad, las entidades comerciales en diferentes sectores de la economía y de la administración pública.⁸¹

⁷⁷ "Automatización: Conceptos EBR" de economía basada en recursos, de diciembre de 2015

⁷⁸ "Por qué hoy es tan importante la gestión de datos empresariales" de Teach target

⁷⁹ "¿Qué es una cadena en bloques (block-chain)?" de criptonoticias

⁸⁰ "¿Qué es cloud computing?" de debitoor by sumup

⁸¹ "Digital transformation of railways" de Jana Pieregud, de 2018

- **Internet de las cosas (“*Internet of Things*” or IoT):** es una red de objetos físicos (vehículos, máquinas, electrodomésticos, etc.) que utilizan sensores y aplicaciones para concentrar e intercambiar datos por internet⁸²
- **Robotización:** sustitución de los seres humanos que llevan a cabo una o algunas actividad(es) por una o varias máquinas que son herramientas para realizar las mismas o más actividades
- **Transformación digital:** involucra una consolidación de datos tecnológicos y el proceso de los negocios de una empresa, la cual aumenta la propuesta de valor de la empresa y su posición en el mercado, provocando una interrupción digital en sus competidores⁸³

⁸² “¿Qué es Internet de las cosas (IoT)?” de SAP

⁸³ “Digital transformation of railways” de Jana Pieregud, de 2018

APÉNDICE 4

AUTOMATIZACIÓN: EL TREN AUTÓNOMO Y EL “HIPERLOOP”

Los trenes de alta velocidad se utilizan en el transporte de pasajeros pero, cada vez más, también en el transporte de mercancías. Los trenes de “hiper alta velocidad” parece que ya están a las puertas.

No solamente compiten coches y trenes autónomos, sino también los aviones autónomos. La NASA está desarrollando una nueva generación de aeronaves muy grandes que competirán con los transportes tradicionales de mercancías.. Materiales innovadores junto con nuevos conocimientos en aerodinámica, puede aumentar la capacidad de transporte de los aviones. Según algunos expertos los viajes en órbita terrestre baja será un medio de transporte en el futuro cercano.

El Hyperloop es un método de transporte completamente nuevo, creado por Elon Musk. Este consiste en un tubo elevado y a baja presión, que contiene cápsulas presurizadas puestas en funcionamiento mediante varios motores electrónicos. Musk es de la opinión que “nunca se chocará, será inmune al tiempo, irá 2 veces más rápido que un avión normal, 4 veces más rápido que un tren de alta velocidad y funcionará con energía solar”⁸⁴

⁸⁴ “9 major factors shaping the future of the rail industry” de smartworld, de 2019

APÉNDICE 5

LIBERALIZACIÓN E INTEGRACIÓN DEL SECTOR FERROVIARIO

En España, el origen del ferrocarril se remonta a mediados del siglo XIX. En el año 1950 se transportaba mediante el ferrocarril cerca del 51% de las mercancías, no obstante experimentó un importante declive en los años 90, llegando en 1992 a un punto mínimo, en el que sólo se transportaba el 5% del total de mercancías. En Europa, sin ser tan espectacular el declive, el transporte de mercancías por ferrocarril también ha disminuido.

Si la cuota de mercado en Europa en 1970 suponía el 20% de todo el transporte de mercancías, actualmente se ha reducido al 10%. La liberalización del sector ferroviario debería contribuir, en el marco de una competencia sólida y regulada, a aumentar la participación de empresas privadas en el mercado ferroviario, a ofrecer a los clientes un servicio más eficiente, de mayor calidad y a un precio más competitivo.

En la adjudicación de obras públicas de infraestructura ferroviaria el gran peligro es la formación de cárteles de empresas privadas para manipular los precios y repartirse los concursos públicos. Precisamente en estos días ha saltado a la prensa la noticia sobre las sanciones que la CNMC ha impuesto a 15 empresas (Siemens, Alstom, Isolux, etc.) por repartirse contratos en obra pública.

En este punto considero interesante dedicar unas líneas a cómo se está produciendo la liberalización del sector ferroviario en Europa:

La Unión Europea ha estado elaborando desde la década de 1990 un nuevo marco regulatorio para el sector. La Directiva 91/440/CEE sobre el desarrollo de los ferrocarriles en la Comunidad Europea, por ejemplo, ha regulado la separación de la infraestructura ferroviaria de la prestación de servicios ferroviarios contribuyendo al desapalancamiento de los ferrocarriles. Posteriormente se han aprobado muchas otras directivas y leyes cuyo objetivo ha sido crear un marco legal para un mercado ferroviario único en Europa. Entre esas directrices elaboradas por la Comisión Europea hay que destacar aquellas recogidas y aprobadas en marzo del 2001 y denominadas Primer Paquete Ferroviario y el Segundo Paquete Ferroviario de abril del 2004.^{85, 86}

> *El Primer Paquete Ferroviario*

El Primer Paquete Ferroviario fijó para los servicios internacionales la apertura de:

⁸⁵ "El transporte ferroviario" del Parlamento europeo

⁸⁶ "La normativa comunitaria del sector ferroviario europeo" de Renfe

- Los tramos principales de la red del transporte de mercancías dentro de Europa hasta el 15 de marzo de 2003
 - Todo la red ferroviaria europea hasta el 15 de marzo de 2008
- ***El segundo Paquete Ferroviario***
- adelanta la fecha de apertura de toda la red ferroviaria para el servicio internacional de transporte de mercancías hasta el 1 de enero de 2007 (en lugar del 15 de marzo de 2008)
 - establece la apertura de toda la red ferroviaria para los servicios nacionales e internacionales para el 1 de enero de 2007
 - regula las licencias para empresas ferroviarias
 - fija nuevas medidas concernientes a la seguridad, capacitación, etc.
- ***El Tercer Paquete Ferroviario***

La Comisión Europea presentó el 9 de marzo de 2004 el *Tercer Paquete Ferroviario* y fue ratificado por el Parlamento Europeo el 19 de diciembre de 2006.

Básicamente regula el transporte ferroviario de personas dentro de Europa, las certificaciones exigidas a los conductores ferroviarios y los derechos y obligaciones de los pasajeros .

A pesar de los esfuerzos regulatorios para la liberalización del sector que, desde los años 90, vienen haciendo las instituciones europeas, todavía queda muchísimo por hacer. Únicamente en 5 países de la Unión Europea y en Suiza, el proceso de apertura del mercado ha avanzado de forma significativa. El resto de países de la UE aún limitan, cuando no niegan, el acceso a nuevas empresas a sus mercados nacionales. Esta realidad crea enormes tensiones entre los países de la Unión Europea.

En un estudio realizado por Deutsche Bahn en el que se analizan 17 países europeos - incluyendo también a Suiza y Noruega- se establecen tres grupos según el grado de apertura al mercado de su sector ferroviario.^{87,88}

El primer grupo, integrado por Gran Bretaña, Suecia, Alemania, los Países Bajos, Dinamarca y Suiza, se ha posicionado bien en el proceso de apertura del mercado produciéndose competencia. Las estrategias utilizadas para ello han sido diferentes y los resultados positivos parecidos.

⁸⁷ "La liberalización ferroviaria en la UE avanza a distintas velocidades" de la Agencia EFE

⁸⁸ "Studie:Nationale Marktzutrittsbarrieren hemmen Vollendung des Binnenmarktes im Eisenbahnverkehr" de la Deutsche Bahn

El segundo grupo lo integran Italia, Austria, Finlandia, Bélgica, Noruega, Portugal y Francia; en estos países nuevas empresas ferroviarias tienen muchos más problemas para penetrar en sus mercados.

Y en el tercer grupo, entre los que se encuentran España, Irlanda, Luxemburgo y Grecia, el proceso de liberalización es muy lento.

En el grupo primero, Gran Bretaña actualmente es el país en el que el proceso de liberalización del mercado ferroviario está más avanzado. Los servicios están totalmente en manos de empresas ferroviarias privadas. También en Suecia y Alemania los procesos de liberalización están muy avanzados; aunque ambos países tienen normativas bastante diferentes han alcanzado grados de apertura de mercado similares. Son un buen ejemplo de una competencia regulada que funciona bien. Mientras que Alemania ha optado por una red ferroviaria integrada con acceso a la red regulada, Suecia ha preferido mantener separada la red ferroviaria pública (hoy sumida en una profunda crisis financiera).

Los Países Bajos y Dinamarca también han avanzado mucho en los últimos años en la liberalización de sus mercados, acercándose a los niveles de Alemania y Suecia. Han marcado distancia frente a Suiza, que pertenece al primer grupo debido a su competitividad en la red ferroviaria para el transporte de mercancías. En Suiza, el transporte de pasajeros y el transporte regional, sin embargo, están prácticamente cerrados para nuevas empresas ferroviarias.

Italia, perteneciente al segundo grupo, es el país que ha abierto más su red ferroviaria (*ley 388 del año 2010*) en los últimos años. Se han creado, y se están creando a día de hoy, estructuras que facilitan la entrada de empresas ferroviarias al mercado. Francia y Austria, restrictivas en su política de liberalización del sector ferroviario, no han conseguido estar en el primer grupo, a pesar de que son países muy importantes en la red trans-europea. Lo mismo sucede con el resto de países del segundo y tercer grupo.

Lo que parece un hecho es que la Comisión Europea regula cada vez más la competencia para los países del primer grupo, debido a que el resto de países persigue políticas más restrictivas en la apertura de sus mercados.

Conclusión: la liberalización del sector en Europa no se está produciendo de forma homogénea ni con la rapidez deseada. Cuesta consensuar las políticas comunitarias y a menudo prevalecen los intereses nacionales sobre el interés general europeo; todo ello va en detrimento de la competitividad del sector a nivel mundial.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE),. (2018, diciembre). Innovación en la seguridad del sistema ferroviario: protección al sistema y a la ciudadanía. recuperado de http://www.railgrup.net/uploads/adjuntos/1544810482-documento_posicionamiento_seguridad_espagnol.pdf
- CER,. (2016, 26 abril). A Roadmap for Digital Railways. recuperado de <http://www.cer.be/sites/default/files/publication/A%20Roadmap%20for%20Digital%20Railways.pdf>
- Economía Basada en Recursos (EBR),. (2015, 1 diciembre). Automatización: Conceptos EBR. recuperado de <http://www.economiabasadaenrecursos.co/index.php/economia-basada-en-recursos/conceptos-ebr/automatizaci%C3%B3n.html>
- Christopher Harms,. (2017, 6 julio). Digitalisierung: „Intelligente, innovative, vernetzte Systeme sind gefragt“. Allianz pro Schiene. recuperado de <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/digitalisierung-interview-manfred-fuhg/>
- Andrea Camanzi,. (2015, 27 noviembre). Digital Single European Railway Area: How do we get there?. 11th Florence Rail Forum. recuperado de <http://www.autorita-trasporti.it/wp-content/uploads/2013/11/Camanzi-Florence-27-Nov.pdf>
- Arne Beck, Heiner Bente, & Martin Schilling,. (2013, Mayo). Railway Efficiency-An Overview and a Look at Opportunities for Improvement. Discussion Paper No.2013-12 . recuperado de <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/dp201312.pdf>
- TC Chew, Chris Luebke, Marcus Morrell & Lynne Goulding,. (2014, julio). Future of Rail 2050. Arup. recuperado de <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/future-of-rail-2050>
- Unknown,. (2018, 17 noviembre). MAFEX y el Sector Ferroviario Español de la Asociación ferroviaria española. MAFEX . recuperado de <https://www.mafex.es/wp-content/uploads/2015/02/2014-Mafex-y-el-Sector-Ferroviano-Espanol.pdf>
- Simon Owens ,. (2018). The digitization of an industrial giant de la Association of American Railroads. recuperado de <http://www.politico.com/sponsor-content/2018/07/the-digitization-of-an-industrial-giant>

- Unknown ,(2019, 18 marzo). How Technology Drives the Future of Rail de la Association of American Railroads. recuperado de <https://www.aar.org/article/the-future-of-rail/>
- Rubén Belluomo, (2018, 11 diciembre). La digitalización: el futuro de la cadena de suministro. América economía. Análisis & Opinión. recuperado de <https://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/la-digitalizacion-el-futuro-de-la-cadena-de-suministro>
- Ben Rossi, (2015, 22 octubre). Trains with brains: how artificial intelligence is transforming the railway industry. Information Age. Topics. Sección de AI & Machine Learning. recuperado de <https://www.information-age.com/trains-brains-how-artificial-intelligence-transforming-railway-industry-123460379/>
- Unknown,(2019). Europäische Eisenbahnpolitik. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). recuperado de <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/europaeische-eisenbahnpolitik.html>
- Andreas Blumenstein,(2003, 6 marzo). Nationale Marktzutrittsbarrieren hemmen Vollendung des Binnenmarktes im Eisenbahnverkehr. Deutsche Bahn. Mobilservice-Vernetzung der Aktivitäten im Mobilitätsmarkt. recuperado de https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/307/stand-der-marktoeffnung-im-europaeischen-schiennenverkehr.pdf?lm=1418801047
- Agencia EFE, (2019, marzo 31). La liberalización ferroviaria en la UE avanza a distintas velocidades. Finanzas.com. Ferrocarril Liberalización. recuperado de http://www.finanzas.com/noticias/empresas/20190331/liberalizacion-ferroviaria-avanza-distintas-4016630_age.html
- Ananya Narain ,(2017, 19 junio). Autonomous Cars are a passé, let`s talk about Autonomous Trains!. Geospatial World. Trending Tech. recuperado de <https://www.geospatialworld.net/blogs/autonomous-trains/>
- Carissa Haller,(2016, 20 septiembre). The digitalization of mobility. Siemens. recuperado de <https://www.siemens.com/customer-magazine/en/home/mobility/innotrans/the-future-of-mobility-is-digital.html>

- Renfe,. (s.f.). La normativa comunitaria del sector ferroviario europeo. Tecnología. recuperado de <http://www.upv.es/contenidos/CATRENFE/info/824153C.pdf>
- CER y UNIFE,. (2011, 29 noviembre) & UIP & ERFA,. (2012),. Future role of ERA. Position Paper. recuperado de [http://www.erfarail.eu/uploads/2274_ERA%20role%20POSITION%20PAPER%20CER%20UNIFE%20UIP%20ERFA%20\(1\).pdf](http://www.erfarail.eu/uploads/2274_ERA%20role%20POSITION%20PAPER%20CER%20UNIFE%20UIP%20ERFA%20(1).pdf)
- Comisión Europea,. (2011, 28 marzo). Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible. Libro Blanco. recuperado de https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf
- Comisión Europea,. (2016, 8 noviembre). Aplicación del Acuerdo de París: avances de la UE hacia el objetivo de reducción mínima del 40%. Informe de la Comisión Europea al Parlamento Europeo y al Consejero. recuperado de <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/ES/COM-2016-707-F1-ES-MAIN.PDF>
- Comisión Europea,. (2011, 22 septiembre). White paper 2011. de Mobility and Transport de European strategies. Transport Themes. recuperado de https://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011_white_paper_en
- Community of European Railway, Infraestructre Company (CER), European Infrastructure Managers (EIM), & International Union of Railways (UIC),. (2013, febrero). Challenge 2050- The Rail Sector Vision. recuperado de http://www.cer.be/sites/default/files/publication/Challenge_2050_CER-EIM-UIC_0.pdf
- Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d),. (2017, noviembre). El reto de la ciberseguridad: análisis en las infraestructuras ferroviarias. Conference Paper. recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324222663_El_reto_de_la_ciberseguridad_analisis_en_las_infraestructuras_ferrovias

- David Dudley,. (2016, 3 octubre). Self-Driving Cars Are Going to Beat Up on Trains, Too. Citylab.Transportation. recuperado de <https://www.citylab.com/transportation/2016/10/self-driving-cars-are-going-to-beat-up-on-trains-too/502430/>
- Deutsche Bahn,. (2017, septiembre).Verlässliche Transportketten jetzt international buchen. Digital Spirit, Digitalisierung im Güterverkehr. recuperado de <https://digitalspirit.dbsystel.de/verlaessliche-transportketten-jetzt-international-buchen/>
- Debitoor,. (s.f.). Cloud computing - ¿Qué es el cloud computing?. recuperado de <https://debitoor.es/glosario/definicion-cloud-computing>
- Digital Railway,. (2018, abril). Digital Railway Strategy. Network Rail. recuperado de <https://www.networkrail.co.uk/our-railway-upgrade-plan/digital-railway/digital-railway-strategy/>
- Economía basada en Recursos (EBR),.(2015, 1 diciembre). Automatización: Conceptos EBR. recuperado de <http://www.economiabasadaenrecursos.co/index.php/economia-basada-en-recursos/conceptos-ebr/automatizaci%C3%B3n.html>
- Balazs Mellas,& Christina Ratcliff,. (2018, octubre), El transporte ferroviario. Política de transportes y turismo. recuperado de <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/130/el-transporte-ferroviario>
- Emily O'Dowd,. (2017, 2 julio). 5 fascinating future rail trends and when we can expect to see them. Smartrail World. recuperado de <https://www.smartrailworld.com/5-fascinating-future-rail-trends-and-when-we-can-expect-to-see-them>
- Dirección de relaciones internacionales,. (s.f.). El tercer paquete ferroviario. Adif
- N. Mazzino,X.Perez, U.Meuser,R. Santoro,M. Brennan, J.Schlaht, C.Chéton, H.Samson, L. Dauby,N.Furio & C. Hernandez,. (2017). Rail 2050 Vision.Rail-The Backbone of Europe's Mobility. European Rail Research Advisory Council (ERRAC). recuperado de http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/Tercer_paquete_ferroviario.pdf
https://www.ptferroviaria.es/docs/Documentos/122017_ERRAC%20RAIL%202050.pdf
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid,. (2006, enero). Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte por Carretera, de Eficiencia y

- ahorro energético. Eficiencia del Transporte. recuperado de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf
- Eurorail press,. (2018, mayo). Innovativer Neubeginn für die Zukunft des Schienengüterverkehrs. Europäische Bahnen .Eurorail press. recuperado de https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/ETR_5-2018_Bobsien.pdf
 - Office of the European Union,.(2013). A sustainable future of transport-Towards an Integrated, Technology-Led and User-Friendly System.Comisión Europea. Recuperado de https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/media/publications/doc/2009_future_of_transport_en.pdf
 - Stefan Marsching,. (2017, 30 julio). Chemin de fer: Du digital dans l’analogique. Frauscher Sensor Technology. Technologies. Recuperado de <https://blog.frauscher.com/fr/1647/chemin-de-fer-du-digital-dans-lanalogique>
 - Björn Westerberg,. (2016, 6 septiembre). ‘Railway 2050’ - Global Railway Review, Global Railway Review. recuperado de <https://www.globalrailwayreview.com/article/32144/railway-2050/>
 - Ricardo González,.(2018, junio). High-speed railway and the digital future, Siemens Rail Automation. 360.revista de alta velocidad. recuperado de https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/360AV05_3.3.RicardoGonzalez.pdf
 - Joël Hazan, Niklaus Lang, Peter Ulrich, Jeffrey Chua, Xanthi Doubara,& Thomas Steffens,. (2016, 30 septiembre). ¿Los vehículos autónomos descarrilarán los trenes?. BCG. recuperado de <https://www.bcg.com/publications/2016/transportation-travel-tourism-automotive-will-autonomous-vehicles-derail-trains.aspx>
 - Feliz Reszewski,. (2019).Digital Transformation in the Rail Industry. BCG. recuperado de <https://www.bcg.com/industries/transportation-travel-tourism/center-digital-transportation/rail.aspx>
 - Dr. Faith Birol,. (2016). The Future of Rail- Opportunities for energy and the environment. International Energy Agency (IEA). recuperado de <https://www.iea.org/futureofrail/>

- Unife,. (2017, 15 octubre). A digital manifesto for Europe's railways. International Railway Journal, Europe. recuperado de https://www.railjournal.com/in_depth/a-digital-manifesto-for-europes-railways/
- Jana Pieriegud,. (2018). Digital Transformation of Railways. shift2rail. recuperado de https://shift2rail.org/wp-content/uploads/2018/04/DIGITAL_TRANSFORMATION_RAILWAYS_2018_web.pdf
- Jiateng Yin, Tao Tang, Lixing Yang, Jing Xun, Yeran Huang, & Ziyu Gao,. (2017, diciembre). Research and development of automatic train operation for railway transportation systems: A survey-Transportation Research Part C, The basics of ATO technologies. recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X17302498>
- Kerstin Zapp,. (2018, enero). Das Ziel klar im Blick. Eurailpress. recuperado de https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/RBS-Spezial_Gueterbahnen_Mai_2018_Zapp.pdf
- David A. King,. (2016, 6 octubre). ¿QUÉ SABEMOS SOBRE EL PROBLEMA DE "PRIMERA MILLA / ÚLTIMA MILLA" PARA EL TRÁNSITO?. Transportist. recuperado de <https://transportist.org/2016/10/06/what-do-we-know-about-the-first-milelast-mile-problem-for-transit/>
- Luke Upton,. (2016, 12 mayo). 9 major factors shaping the future of the rail industry. smartrail world. recuperado de <https://www.smartrailworld.com/9-major-factors-shaping-the-future-of-the-rail-industry>
- Margaret Rouse,. (2017, abril). ¿Qué es Big data?. SearchDataCenter. recuperado de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Big-data>
- Maria Leenen, & Alexander Precht,. (2017, agosto). Herausforderung Digitalisierung im System Schiene, SCI/Verkehr, recuperado de https://www.sci.de/fileadmin/user_upload/free-downloads/pdf/170726_BMVI_Digitalisierung_System_Schiene_SCI.pdf
- Markus Pelz,. (2018, junio). Der Einfluss innovativer Cargo-Lösungen auf die Automatisierung des Bahnbetriebs. eurorail press. recuperado de https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/SD_6-2018_Pelz.pdf
- Miguel Arroyo,. (2018, 4 diciembre). ¿Qué es una cadena de bloques (block chain)?. CriptoNoticias. recuperado de <https://www.criptonoticias.com/informacion/que-es-una-cadena-de-bloques-block-chain/>

- Secretaría General de Transporte,. (2018, marzo). Observatorio del Transporte y la Logística en España. Informe anual 2017. recuperado de <http://observatoriortransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/EE4D9E3E-74A9-4C1F-A5FC-284D30BBAFFA/148831/INFORMEOTLE2017.pdf>
- Oliver Wyman ,(2017, 30 noviembre). The Impact of Energy and Digital transformation on Rail, Rodney Case. recuperado de <https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2017/nov/the-impact-of-energy-and-digital-transformation-on-rail.pdf>
- Saul friedner, Ricard Womersley, & Toby Treacher,. (2018,enero). Connected Train and Customer Communications: Rail and Digital Industry Roadmap. RSSB . recuperado de <https://www.rssb.co.uk/Library/research-development-and-innovation/2018-01-T1138-Connected-Train-Customer-Communications.pdf>
- Secretaría Técnica del Laboratorio de Ecoinnovación (inèdit),. (2017, 20 marzo). Tendencias de ecoinnovación-Movilidad ferroviaria. El ferrocarril del futuro,eficiencia y mitigación del cambio climático. recuperado de http://www.laboratorioecoinnovacion.com/informes_de_tendencias
- Unknown,. (s.f.). ¿Qué es internet de las cosas (IoT). SAP. recuperado de <https://www.sap.com/spain/trends/internet-of-things.html>
- Unknown,. (2015, 15 septiembre). Swedish trains to use Big Data to predict and prevent future delays. SmartRail World Staff. recuperado de <https://www.smartrailworld.com/it-and-wifi/swedish-trains-to-use-big-data-to-predict-and-prevent-future-delays>
- Diana Stancy Correll,. (2018, 22 mayo). Robot trains? Railroads call for greater automation. Washington Examiner. recuperado de <https://www.washingtonexaminer.com/news/robot-trains-railroads-call-for-greater-automation>
- Sue Morant,. (2016, 27 enero). Digitisation and automation will define our future. International Railway Journal(IRJ). recuperado de https://www.railjournal.com/in_depth/digitisation-and-automation-will-define-our-future/
- The Stationary Office (TSO). (2004, julio). The Future of Rail-White Paper, recuperado de https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20050302180356/http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_railways/documents/pdf/dft_railways_pdf_031105.pdf

- Tim Worstall,. (2018, 12 noviembre). Autonomous vehicles are going to kill high-speed rail. Washington Examiner. recuperado de <https://www.washingtonexaminer.com/opinion/autonomous-vehicles-are-going-to-kill-high-speed-rail>
- Tina Amirtha,. (2017, 6 abril). Forget self-driving cars: Here's how driverless trains are moving ahead. ZD Net, Sección Innovation. recuperado de <https://www.zdnet.com/article/forget-self-driving-cars-heres-how-driverless-trains-are-moving-ahead/>
- Trapeze,. (2017, 19 septiembre). Future Rail: Emerging technologies to effectively manage growing rail networks, Whitepaper, recuperado de <https://www.trapezegrup.com.au/resources/whitepaper-future-rail-eam>
- Yihui Wang, Miao Zhang, Jiaqi Ma, & Xuesong Zhou,. (2016, 1 diciembre). Survey on Driverless Train Operation for Urban Rail Transit Systems. Springer;Urban Rail Transit,Volu,e 2.Issue 3-4,pp.106-113. recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40864-016-0047-8>
- Instituto Nacional de Ciberseguridad (INCIBE),. (2015, 27 octubre). Vigilando al AVE: Ciberseguridad ERTMS
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC),. (2017, 14 diciembre). Informe de supervisión del mercado de transporte ferroviario de mercancías año 2016. recuperado de https://www.cnmc.es/sites/default/files/1876653_14.pdf
- Ministerio de Fomento,. (2010, noviembre). Plan Estratégico para el Impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías en España. recuperado de <http://www.faprove.es/wp-content/uploads/2011/11/DocPEITFM-.pdf>
- Ministerio de Fomento ,(2013,8 julio). Estrategia Logística de España. recuperado de <http://www.cadenadesuministro.es/wp-content/uploads/2013/10/Estrategia-Logistica-de-Espana-avance-130708.pdf>
- María del Carmen Palao, ,(s.f.). El by-pass de Torrejón de Velasco(Madrid) para conectar las líneas de Andalucía y Levante. recuperado de <http://www.ave-altavelocidad.es/avecedario/pdf/N/N002.pdf>

- Secretario general de la Comisión Europea,. (2016. 7 julio). Reforzar el sistema de ciberresiliencia de Europa y promover una industria de la ciberseguridad competitiva e innovadora. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. recuperado de <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11013-2016-INIT/es/pdf>
- Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE),. (2008,abril). Agenda Estratégica de Investigación del Sector Ferroviario. recuperado de https://www.vialibre-ffe.com/PDF/agenda_estrategica_ptfe.pdf
- Sofía Olarte Encabo,.(s.f). Brecha Digital, Pobreza y Exclusión Social.pp.285-313. recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/6552396.pdf>

Madrid, a de abril de 2019