



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

La Línea Orbital de Ferrocarriles en Barcelona

Treball realitzat per:

Jordi Moliner Martínez

Dirigit per:

Andrés López Pita

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, juny de 2018

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Resumen

La Línea Orbital de Ferrocarriles en Barcelona

Jordi Moliner Martínez

En la actualidad, las conexiones por ferrocarril, en servicios de cercanías, entre el norte y el sur de Barcelona, se realizan en prácticamente su totalidad mediante líneas que discurren por el interior de esta población. Ello se traduce en problemas de capacidad que limitan la calidad del servicio ferroviario en Barcelona ciudad, además de en rodeos innecesarios en los desplazamientos entre ciertos núcleos de la periferia. En este contexto, desde hace algún tiempo, se analizan las posibilidades técnicas y el interés económico de construir una nueva línea, podríamos denominar de circunvalación, que evite el paso por el centro de Barcelona: la Línea Orbital Ferroviaria (LOF).

Primero, en este trabajo se han estudiado y analizado los servicios de metro y de ferrocarril de cercanías de algunas de las ciudades más importantes del mundo, y se ha observado si poseen líneas similares a la LOF. Este análisis permite comprender mejor cómo grandes ciudades han configurado sus redes de metro y cercanías, donde destaca la ausencia de líneas con las características de la LOF.

Segundo, se han llevado a cabo cálculos analíticos con el objetivo de cuantificar los costes de la LOF: el coste para el usuario, el coste para el operador y coste de inversión en nueva infraestructura. Como alternativa a este servicio, también se han calculado los costes que supondría implementar un servicio de autobuses interurbanos cubriendo el mismo recorrido que la LOF, y se han comparado los costes de ambos modos de transporte. Los resultados muestran que los costes de la LOF son superiores al del servicio del autobús interurbano. A partir de estos resultados, sumados al análisis del punto primero, se desprende que la ejecución de la LOF no es recomendable actualmente.

Finalmente, se exponen otras actuaciones de mayor necesidad en el servicio de cercanías de Barcelona. Estas actuaciones permitirían aumentar la capacidad del sistema en la ciudad de Barcelona, donde se encuentran los puntos más críticos de la red, mejorando sustancialmente la calidad global del servicio prestado.

Abstract

La Línea Orbital de Ferrocarriles en Barcelona- The Barcelona Orbital Railway

Jordi Moliner Martínez

Nowadays commuter railway services between north and south Barcelona are mainly performed by radial lines which pass through the city of Barcelona itself. This has two relevant impacts: capacity problems in the city of Barcelona that limit the quality of the commuter railway services and unnecessary detours for displacements among towns in the periphery. Under these circumstances, the technical and economic possibilities of implementing a new line connecting these towns, avoiding going into the city of Barcelona, have been taken into account during the last years: The Barcelona Orbital Railway (in Catalan, Línia Orbital Ferroviaria, LOF).

Firstly, in this work, metro and commuter railway services of several cities in the world have been analyzed, in order to observe if a similar line to the LOF exists. This analysis aims to better understand commuter railway services in other cities, where the absence of orbital railways with same characteristics as the LOF has been stated.

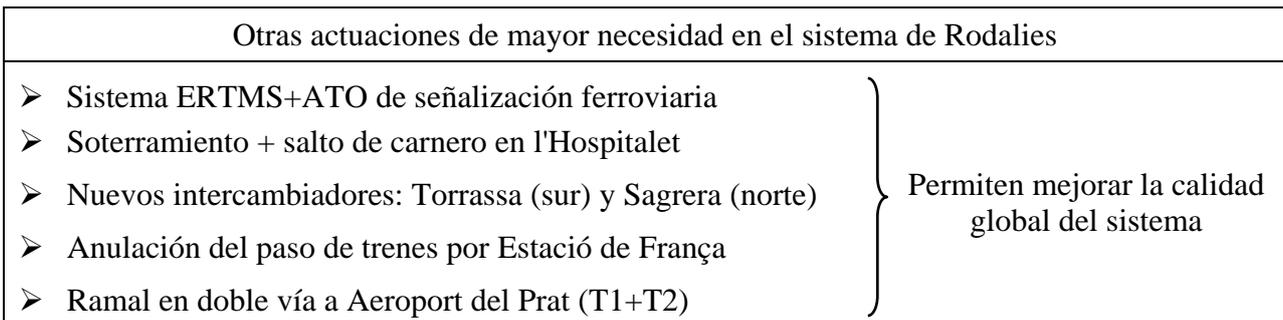
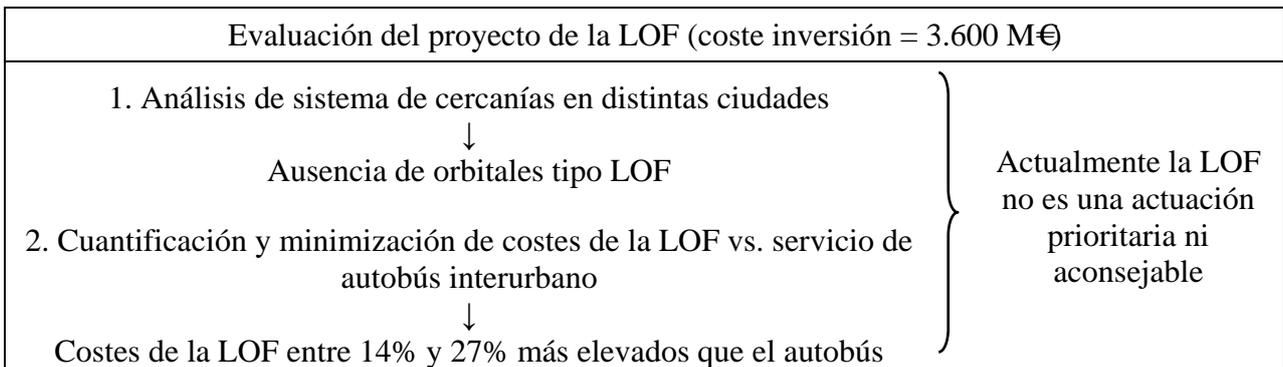
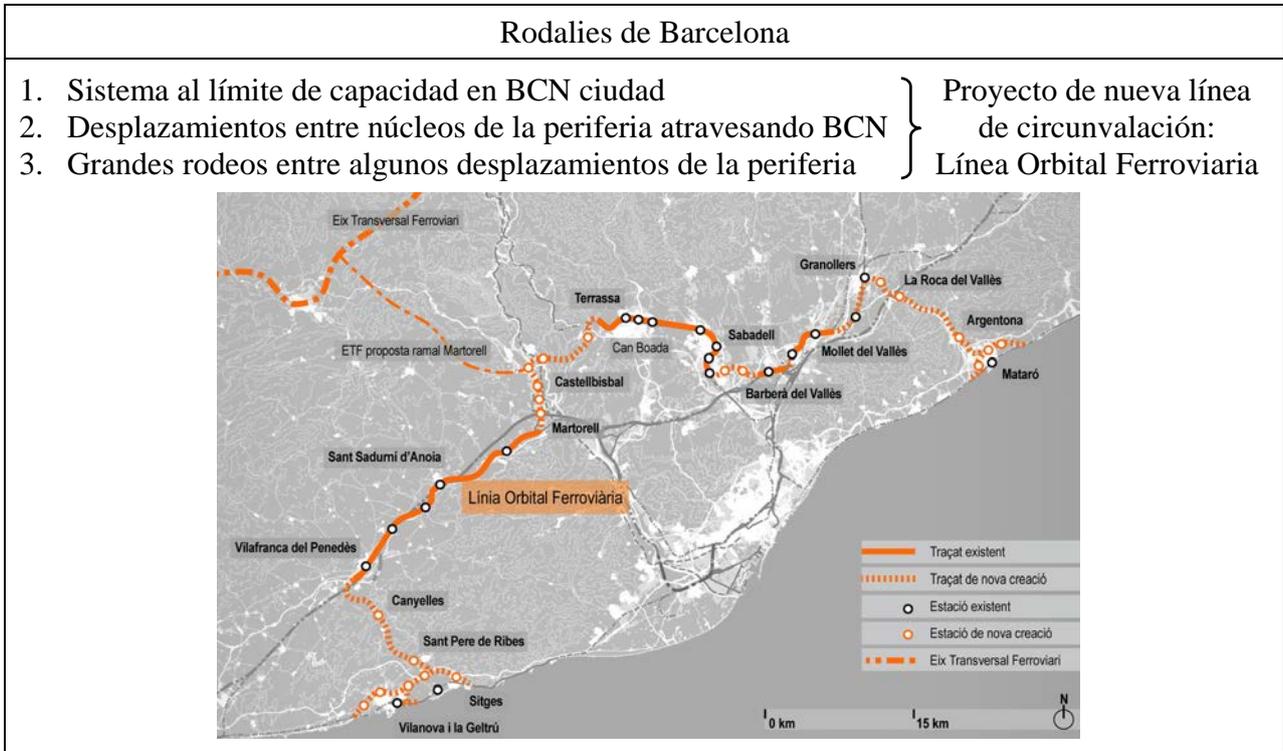
Secondly, analytical calculations have been carried out to quantify the LOF's costs: user's costs, operator's costs and investment in new infrastructure's cost. Alternatively, the costs of a bus service covering the same itinerary as the LOF's have also been calculated and compared to the LOF's costs. Results show that LOF's costs are higher than the bus's. These results, in addition to what has been stated in the first point, lead to conclude that executing the LOF is not advisable from a technical point of view.

Finally, other necessary performances in the Barcelona's commuter railways services have been considered. These performances would increase the capacity of the system in the city of Barcelona, where the most critical points of the network are located, improving the quality of the whole commuter railways service.

Resumen esquemático

La Línea Orbital de Ferrocarriles en Barcelona

Jordi Moliner Martínez



Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a Andrés López Pita el apoyo incansable que me ha brindado durante estos meses, así como la oportunidad de conocer a Félix Martín, a quién también le doy las gracias por su tiempo. También darle las gracias a Rafael Domínguez, quién siempre está a una llamada de donde yo esté para escucharme.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi familia, a todas y cada una de las personas que forman parte de ella, el apoyo que me han dado durante estos años. Si bien este máster ha sido de menor duración que el grado, cabe decir que tampoco ha sido fácil. A partir de ahora me espera una etapa completamente distinta a los seis años anteriores. No importa dónde me lleve el futuro, siempre os tendré presente.

Finalmente, me gustaría agradecer a Montse el simple hecho de ser mi compañera de aventuras todos estos años, especialmente durante estos últimos cuatro meses, que han sido maravillosos a tu lado.

Índice de contenidos

Resumen	i
Abstract.....	iii
Resumen esquemático	v
Agradecimientos.....	vii
Índice de contenidos	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tablas	xv
1 Introducción.....	1
1.1 Alcance del trabajo	1
1.2 Objetivo del trabajo	4
1.3 Estructura del trabajo.....	4
2 La configuración de los servicios ferroviarios de cercanías: origen y características	5
2.1 Berlín	6
2.2 París	7
2.3 Tokio.....	9
2.4 Madrid	11
2.5 Hacia un modelo de transporte metropolitano.....	13
3 El sistema ferroviario de cercanías en Barcelona: Rodalies de Catalunya.....	15
3.1 Origen del ferrocarril en España y Barcelona	15
3.2 Evolución de los servicios de ferrocarril de cercanías de Barcelona	22
3.3 Demanda de las líneas de Rodalies de Barcelona.....	27
4 La Línea Orbital Ferroviaria.....	29
4.1 Cronología de la LOF	29
4.2 Características principales de la LOF según PDU de la LOF el 2010	32
4.2.1 Tramo 1. Vilanova i la Geltrú / Sitges a Vilafranca del Penedès	33
4.2.2 Tramo 2. Martorell - Terrassa	34
4.2.3 Tramo 3. Sabadell - Granollers.....	35
4.2.4 Tramo 4. Granollers - Mataró.....	36
4.3 Análisis de los datos más relevantes de la LOF	37

4.3.1	Habitantes en los municipios servidos por la LOF.....	37
4.3.2	Orografía a lo largo de la línea	39
5	Costes esperados de la Línea Orbital Ferroviaria.....	41
5.1	Hipótesis y datos preliminares.....	41
5.1.1	Datos de entrada para el coste del operador	43
5.1.2	Datos de entrada para el coste del usuario.....	45
5.1.3	Datos de entrada para el coste de inversión.....	46
5.2	Resultados.....	46
5.3	Análisis de sensibilidad de la demanda	48
6	Actuaciones de mayor necesidad en la red de Rodalies	51
6.1	Implantación de ERTMS + ATO en señalización ferroviaria	51
6.1.1	Descripción del sistema ERTMS.....	51
6.1.2	Descripción del sistema ATO.....	53
6.2	Soterramiento de vías en l'Hospitalet de Llobregat.....	54
6.3	Implementación de los intercambiadores de La Torrassa y Sagrera-Meridiana	55
6.4	Anulación de la Estació de França	56
6.5	Ramal en doble vía al Aeropuerto	57
6.6	Impacto global de las actuaciones en la red de Rodalies.....	58
7	Conclusiones.....	59
8	Referencias	61

Índice de figuras

Figura 1.1. Última versión del trazado de la LOF según aparece en el Plan Director Urbanístico de la Línea Orbital Ferroviaria en el 2010. Fuente: (Anuari Territorial de Catalunya, 2010).....	1
Figura 1.2. Plano de la red de Rodalies actual, con los tramos que cubriría la LOF en discontinua, desde Sitges/Vilanova hasta Mataró y la R8 (no radial) en violeta. Fuente: (Wikimedia, 2017).....	3
Figura 2.1. Plano integrado del metro y ferrocarril suburbano de Berlín en 1934. Presenta una notable coordinación inexistente en la época y que no aparecerá hasta decenios más tarde otras ciudades. Fuente: (TransitMap Berlin, 2018).....	6
Figura 2.2. Plano del metro de París, con una red mallada en la zona central y ramificaciones hacia el ámbito metropolitano. Fuente: (RATP, 2018).....	7
Figura 2.3. Plano del ferrocarril suburbano de París (RER), con cuatro de cinco de las líneas pasantes por el centro de la ciudad y con una función claramente de metro dentro de París ciudad y de cercanías en las bifurcaciones hacia los alrededores de la ciudad. Fuente: (RATP, 2018)	8
Figura 2.4. Mapa del metro de Tokio. La línea orbital Yamanote se presenta en discontinua negra-blanca, cosiendo estaciones de áreas importantes como Shinagawa, Shibuya Ikebukuro o Ginza. Fuente: (Tokyometro, 2018).....	10
Figura 2.5. Comparativa en longitud y localización de las líneas Musashino y Nambu con la Yamanote, en Tokio. Fuente: (Elaboración propia).....	11
Figura 2.6. Mapa del servicio de cercanías por ferrocarril de Madrid. La línea circular C7 no es orbital, ya que pasa la arteria principal de la capital, aunque más allá de estas estaciones se desvía hacia el oeste y se une con otros municipios. Fuente: (Renfe Cercanías, 2017)	12
Figura 3.1. Fotografía de constructores y accionistas de la línea Barcelona-Mataró, hacia el año 1848. Fuente: (Dalmau, 1946)	16
Figura 3.2. Mapa alemán con la red de ferrocarriles del territorio español hacia el año 1921. En rojo, las líneas de la compañía MZA. Fuente: (Röll, 1912).....	17
Figura 3.3. Actuaciones sobre la infraestructura previstas en el PTF de 1987. Fuente:(Ministerio de Obras Públicas, 1987)	19
Figura 3.4. Líneas de Alta Velocidad y otras actuaciones estructurantes previstas para el PDI en 1994. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 1994).....	20
Figura 3.5. Situación del PIT en octubre del 2003. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2000).....	21

Figura 3.6. Logotipos de ADIF y Renfe, las dos empresas creadas tras la desaparición de RENFE. Fuente: (Elaboración propia a partir de <i>Renfe, origen y destino de una imagen</i> , de RENFE, 2018).....	22
Figura 3.7. Plano actual de la red de Rodalies. Fuente: (Renfe, 2018)	26
Figura 3.8. Distribución porcentual en cada línea de los viajeros en el servicio de Rodalies en día laborable. Total: 369.477 viajeros. Fuente: (Martín, 2017).....	27
Figura 4.1. Última versión del trazado de la LOF según aparece en el Plan Director Urbanístico de la Línea Orbital Ferroviaria en el 2010. Fuente: (Anuari Territorial de Catalunya, 2010).....	29
Figura 4.2. Termómetro de la línea R8 de Rodalies. Fuente: (Trenscat, 2017)	31
Figura 4.3. Tramo de la línea de mercancías desde Martorell a Castellbisbal (turquesa) y de Castellabistal hasta Mollet (azul marino), reconvertido desde 2011 en R8 con tráfico de pasajeros además del tráfico de mercancías ya existente. Fuente: (Chomenko, 2007)	31
Figura 4.4. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 1 de la LOF, desde Vilanova/Sitges hasta el enlace con R4 al este de Els Monjos. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	33
Figura 4.5. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 2 de la LOF, desde Martorell hasta Viladecavalls. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	34
Figura 4.6. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 3 de la LOF, en Barberà del Vallès primero y luego desde Montmeló hasta Granollers. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	35
Figura 4.7. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 4 de la LOF, desde Granollers hasta Mataró. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	36
Figura 4.8. Reubicación de la parada Mataró Est (en violeta) respecto al trazado original del PDU de la LOF (en naranja). Fuente: (MyMaps-Google, 2018).....	37
Figura 4.9. Habitantes de cada uno de los municipios por los que pasa la LOF. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018)	38
Figura 5.1. Mapa de cargas ferroviarias diarias en ambos sentidos. Fuente: (MCrit-Ifercat, 2008)	42
Figura 5.2. Costes totales de la LOF en función del intervalo de paso	46
Figura 5.3. Costes totales del bus en función del intervalo de paso	47

Figura 5.4. Sensibilidad del coste respecto a la demanda para la LOF	48
Figura 5.5. Sensibilidad del coste respecto a la demanda para el bus	49
Figura 6.1. Baliza ERTMS. Fuente: (ADIF, 2017)	52
Figura 6.2. Cabeza del tren circulando por la L9 del Metro de Barcelona, en ausencia de conductor. Fuente: (Trenscat, 2017).....	53
Figura 6.3. Esquema de la configuración actual (arriba) y de la configuración prevista (abajo) con la introducción del salto de carnero y los intercambiadores de Torrassa y Sagrera. Fuente: (Elaboración propia).....	54
Figura 6.4. Detalle de la red de Metro de Barcelona. En verde, los intercambiadores de Torrassa (previsto), Sagrera (previsto) y Sants (existente). Fuente: (Elaboración propia a partir de TMB, 2018).....	55
Figura 6.5. Un tren Civia de Rodalies llega a la terminal Estació de França. Fuente: (Trenscat, 2009).....	56
Figura 6.6. Termómetro de la R2, donde aparece el desvío de la R2 Sud hacia Estació de França, estación terminal de la línea. Fuente: (Trenscat, 2017)	56

Índice de tablas

Tabla 3.1. Correspondencia de las competencias en Rodalies de Catalunya. Fuente: (Lizcano Núñez, 2011)	23
Tabla 3.2. Nota media de los usuarios a los distintos medios de transporte. Fuente: (EMEF 2015).....	24
Tabla 3.3. Cronología de administración y gestión de Rodalies de Catalunya. Fuente: (Lizcano Núñez, 2011)	25
Tabla 4.1. Características principales de la LOF según el PDU de la LOF del 2010. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	32
Tabla 4.2. Municipios por los que pasa la LOF y número de habitantes. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018)	38
Tabla 4.3. Inversiones estimadas en 2008 para el PDI de la RMB-ATM 2008-2015. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	39
Tabla 5.1. Costes del operador para la LOF. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016).....	43
Tabla 5.2. Costes del operador para el bus. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016).....	44
Tabla 5.3. Costes del usuario para la LOF. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016).....	45
Tabla 5.4. Costes del usuario para el bus. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016).....	45
Tabla 5.5. Resumen de costes de la administración (inversión) para la LOF. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010).....	46
Tabla 5.6. Costes mínimos totales asociados al intervalo de paso óptimo que minimiza lo costes globales.....	47
Tabla 5.7. Costes totales de la LOF para un intervalo de paso de un tren cada 30 ó 60 minutos	47
Tabla 5.8. Incremento de coste de la LOF sobre el bus para un intervalo de paso de trenes de 30 minutos	49
Tabla 5.9. Incremento de coste de la LOF sobre el bus para un intervalo de paso de trenes de 60 minutos	49

1 Introducción

1.1 Alcance del trabajo

Actualmente las conexiones por ferrocarril en servicios de cercanías entre el norte y el sur de Barcelona se realizan en prácticamente su totalidad mediante líneas radiales que discurren por el interior de esta población. Esto se traduce en problemas de capacidad que limitan la calidad del servicio ferroviario en la ciudad de Barcelona y que supone que los desplazamientos entre algunos núcleos de la periferia recorran más distancia de la necesaria, aumentando los tiempos de estos desplazamientos.

En este contexto, desde hace algún tiempo se analizan las posibilidades técnicas y el interés económico de construir una nueva línea, podríamos denominar de circunvalación, que evite el paso por el centro de Barcelona: la Línea Orbital Ferroviaria.

La Línea Orbital Ferroviaria de Barcelona (LOF) es un proyecto de ferrocarril dentro del sistema de Rodalies de Barcelona que pretende conectar las ciudades de Vilanova i la Geltrú (al sur de Barcelona) y Mataró (al norte de Barcelona) pasando por municipios de la periferia de la capital catalana como Vilafranca del Penedès, Martorell, Terrassa, Sabadell y Granollers sin entrar en la ciudad de Barcelona, rompiendo así la radialidad actual del sistema de Rodalies (ver Figura 1.1). El Plan Director de Infraestructuras en la Región Metropolitana de Barcelona por la Autoritat del Transport Metropolità para 2008-2015 estimó una inversión para este proyecto de 3.600 M€

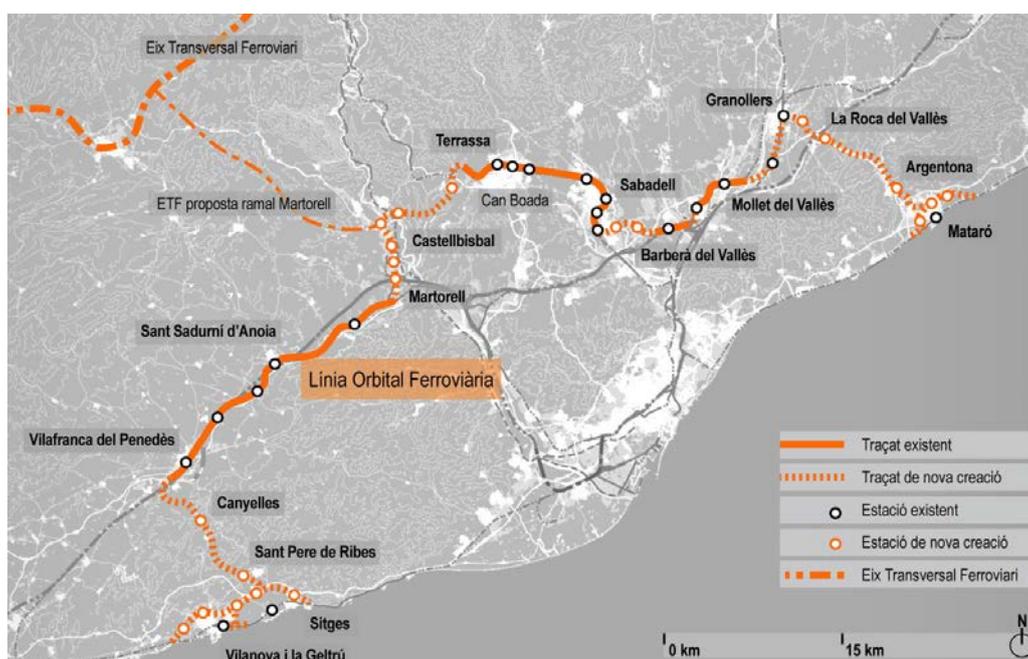


Figura 1.1. Última versión del trazado de la LOF según aparece en el Plan Director Urbanístico de la Línea Orbital Ferroviaria en el 2010. Fuente: (Anuari Territorial de Catalunya, 2010)

En materia de transportes, cuando se desea estudiar una nueva posible actuación, resulta conveniente observar y analizar si se han llevado a cabo actuaciones similares en otras ciudades del mundo, cómo se han llevado a cabo y los motivos por los cuales se introdujeron.

Ciudades como Berlín, París, Tokio o Madrid presentan unos sistemas de cercanías con características particulares e interesantes de analizar, aunque cada ciudad y sistema esté configurado de manera distinta, ya sea por su orografía, geografía o forma de crecimiento urbano:

- Berlín fue el referente de sistema de cercanías por las ideas que se desarrollaron en esta ciudad a finales del siglo XIX e inicios del XX. En Berlín se introdujo inicialmente una línea orbital pero a mucha menor escala que la LOF de Barcelona, con una longitud de la línea de unos 40 km, enlazando las estaciones más relevantes de la ciudad y no los núcleos urbanos de la periferia. Esta línea aún está operativa y actualmente transporta 400.000 pasajeros/día.
- París presenta uno de los mejores sistemas de cercanías del mundo. En París domina la radialidad y no se ha implementado una línea orbital, aunque algunos técnicos lo consideran recomendable. Las líneas de RER, el servicio de cercanías parisino, son pasantes por los puntos neurálgicos de la ciudad, y permiten cruzarla de un extremo a otro con rapidez por su notable distancia entre paradas, además de presentar múltiples intercambiadores con servicios de metro.
- En Tokio la demanda es de un orden superior al resto de ciudades y se tienen dos líneas orbitales: la Yamanote en el anillo interior y la Masushino-Nambu en el semi-anillo exterior. En Tokio, y en Japón en general, el ferrocarril es el transporte ideal para transportar demandas tan elevadas de viajeros.
- En Madrid predomina la radialidad como en París, y aunque tienen una línea circular, ésta no es orbital sino que cruza la arteria principal de la ciudad y se completa hacia el oeste, dando servicio a otros municipios. Resulta interesante analizar el caso de Madrid por ser una ciudad española, donde la actitud del pasajero madrileño es similar al barcelonés, y donde los horarios y costumbres de desplazamiento también son parecidas.

En Barcelona no existe un concepto de línea orbital en cuanto a servicio de cercanías por ferrocarril. Todas las líneas del servicio de cercanías de Barcelona son radiales, salvo una. Hasta el día de hoy tan solo se ha puesto en marcha un tramo de línea no radial de unos 40 km, que podría concebirse como el tramo central de la LOF, y que une Martorell con Granollers: la línea R8, mostrada en el plano de Rodalies de la Figura 1.2.

La línea R8 entró en servicio en 2011 y es la única línea de Rodalies que no pasa por Barcelona. La R8 presenta una demanda de entre uno y dos órdenes de magnitud inferior a las de las líneas R1, R2 o R4. Si bien la R8 solo es un pequeño tramo de lo que podría ser la LOF, el dato de la demanda de esta línea sirve de referencia para comparar el impacto de las líneas radiales hacia Barcelona con el de la R8 y la LOF.

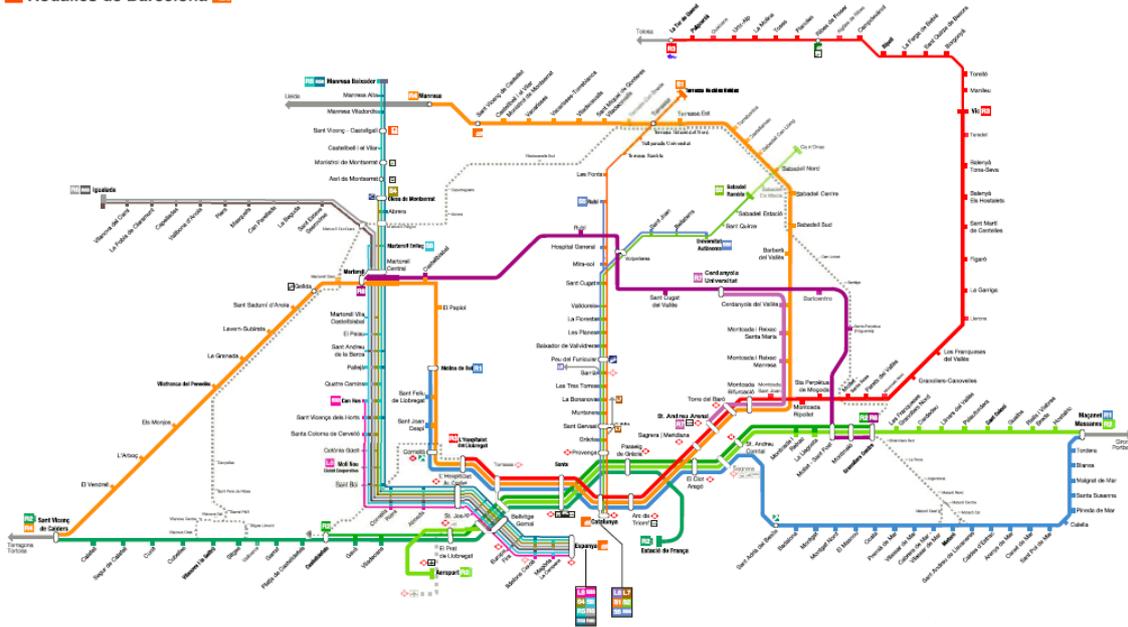


Figura 1.2. Plano de la red de Rodalies actual, con los tramos que cubriría la LOF en discontinua, desde Sitges/Vilanova hasta Mataró y la R8 (no radial) en violeta. Fuente: (Wikimedia, 2017)

Con el objetivo de cuantificar este impacto y el coste de la ejecución de la LOF, en este trabajo se han llevado a cabo cálculos de costes del usuario, costes del operador y costes de inversión para la LOF. Para comparar estos costes, también se han llevado a cabo cálculos de costes del usuario y costes del operador mediante un servicio de buses que cubriría el mismo recorrido que la LOF.

Los datos de entrada se han obtenido de la base de datos del Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT), metodología de referencia para evaluar la rentabilidad socioeconómica de las actuaciones impulsadas por la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre (DGIMT).

La demanda se ha obtenido de los datos de demanda para el año 2026 presentados en el Estudio Justificativo del Plan Director Urbanístico para la concreción y delimitación de la reserva de suelo de la Línea Orbital Ferroviaria. Para mostrar la robustez de los cálculos en este aspecto, también se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad de la demanda.

Finalmente, se han tenido en cuenta algunas actuaciones de especial necesidad y relevancia en la red de Rodalies: la implantación del sistema ERTMS + ATO, el soterramiento y salto de carnero en las vías de l'Hospitalet de Llobregat, la supresión de paso de trenes de la R2 por la Estación de Francia o el ramal en doble vía hasta el Aeropuerto de El Prat. Se ha comentado la importancia de estas actuaciones y el impacto que tendrían en el sistema, así como su prioridad respecto a la LOF.

1.2 Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo es analizar el proyecto de la Línea Orbital Ferroviaria de Barcelona. Primero, observando los sistemas de metro y cercanías ferroviarias de ciertas ciudades en el mundo, y detectando si tienen una línea orbital de características similares. Segundo, qué coste tiene implementar la LOF en Barcelona, qué necesidades de movilidad cubre esta línea y si estas necesidades están en consonancia con el coste del proyecto, comparando estos costes con los que tendría un servicio alternativo de bus. Y tercero, qué otras actuaciones podrían llevarse a cabo en la red de Rodalies para mejorar el servicio ofrecido y cuál es la prioridad de estas actuaciones respecto a la LOF.

1.3 Estructura del trabajo

El presente trabajo final de máster tiene la estructura descrita a continuación.

En el capítulo 2 se analizan las configuraciones de los servicios de metro y de cercanías de algunas ciudades, viendo los puntos fuertes y débiles de estos sistemas en cada caso, y si presentan una línea orbital ferroviaria parecida a la LOF o no.

En el capítulo 3 se analiza el sistema de cercanías de Barcelona: Rodalies de Barcelona. Se analiza cómo ha evolucionado este sistema desde su origen, qué empresas son responsables de su gestión en el día de hoy y cómo son sus líneas y la demanda que presentan.

En el capítulo 4 se analizan las características de la LOF dentro del Plan Director Urbanístico de la LOF: cuáles son las características de trazado de la línea y cuál es la inversión estimada para cada uno de sus tramos.

En el capítulo 5 se analiza de manera analítica la LOF, asumiendo que se comporta como un corredor, y comparando los costes de los usuarios, los costes de operación y los costes de inversión que tendría la LOF con los costes de un servicio de bus que cubriría el mismo recorrido.

En el capítulo 6 se exponen actuaciones de mayor necesidad dentro de la red de Rodalies. Estas actuaciones resultarían ser económicamente más viables que la LOF y su impacto en la mejora de la red se prevé sustancialmente mayor que el de la LOF.

En el capítulo 7 se extraen las conclusiones más relevantes del estudio desde el punto de vista técnico, teniendo en cuenta los distintos enfoques desde los cuales se ha llevado a cabo el trabajo.

En el capítulo 8 se incluyen las referencias a partir de las cuales se ha obtenido la información para la elaboración del presente trabajo.

2 La configuración de los servicios ferroviarios de cercanías: origen y características

Para comprender la utilidad de los servicios ferroviarios de cercanías resulta fundamental conocer el origen de los mismos. Algunas ciudades han resultado ser modelos del sistema de transporte metropolitano, de modo que es de especial interés fijarse en cómo han configurado estos sistemas, y ver si es extrapolable a otros casos o no. Otras presentan rasgos únicos que son de especial interés.

El servicio del ferrocarril de cercanías, junto al de la alta velocidad, ha supuesto el resurgimiento del ferrocarril, que se encontraba moribundo por la importancia creciente que se llevaron el transporte por carretera y la aviación en gran parte del siglo XX.

Por un lado, el servicio de alta velocidad permite competir con la aviación para recorridos no superiores a 3 horas. Por otro lado, el servicio de cercanías conforma un modo de transporte de gran capacidad que cubre esencialmente desplazamientos entre núcleos de la periferia y núcleo central, aliviando la congestión de las carreteras.

En este apartado se estudian algunas ciudades de especial relevancia en cuanto a su sistema de cercanías.

- En primer lugar, se estudia Berlín por ser el referente en los inicios de la ciudad metropolitana y por haber desarrollado su ferrocarril metropolitano sin preexistencias, permitiendo a otras ciudades copiar su modelo.
- En segundo lugar, se estudia París como ciudad que ha sabido sacar alto rendimiento a sus trenes de cercanías, modelo a seguir para muchas ciudades metropolitanas.
- En tercer lugar, se ha estudiado Tokio por ser una ciudad con una demanda entre uno y dos órdenes de magnitud superior a prácticamente todas las demás ciudades del mundo, con las particularidades que esto conlleva para el ferrocarril.
- Finalmente, en cuarto lugar, se ha estudiado Madrid por ser una ciudad dentro del ámbito nacional, donde los hábitos y horarios de las personas son parecidos a los de Barcelona. Madrid cuenta con un sistema de cercanías más avanzado que el de Barcelona y con una línea circular de cercanías no orbital.

Con este análisis se pretende tener una idea previa de cómo son los sistemas de cercanías de algunas ciudades del mundo, ver semejanzas y diferencias entre ellos y compararlos con la ciudad de Barcelona en los aspectos que sea posible.

2.1 Berlín

Berlín es el referente de la ciudad metropolitana en cuanto a las ideas que se desarrollaron en esta ciudad a finales del siglo XIX e inicios del XX. Esta ciudad se convirtió en capital más tarde que París o Londres, permitiendo que se proyecte de forma completamente libre su sistema en el momento de la creación del Estado Prusiano en 1871, convirtiendo la capital de 820.000 habitantes en un centro de poder político, económico e industrial.

Este hecho no limita el desarrollo del sistema ferroviario, ya que no hay preexistencias. Además, el Estado Prusiano le da una importancia añadida, y junto a un gran crecimiento de la población hasta 4 millones de habitantes en 1911, conforma los principios básicos de una red suburbana ferroviaria con vocación metropolitana:

- Líneas pasantes por el centro de la ciudad, con distintas estaciones centrales distribuidas a lo largo de estos corredores.
- Anillo perimetral ferroviario como unión de las principales zonas productivas.
- Cuadruplicación de vías en los corredores que acogen los servicios suburbanos y de largo recorrido, habilitando la formación de sistemas independientes.
- Distancia entre estaciones de suburbano de 1 km.
- Sistema tarifario por zonas en 1891 con una compañía de gestión específica para estos servicios.
- Extensión del sistema a todo el ámbito metropolitano con 295 km de línea y 737 millones de pasajeros en 1943.

Como complemento a este sistema de relación entre ciudad central y ciudad metropolitana se introduce el sistema de metro y de tranvía en el interior de la ciudad central para cubrir los desplazamientos interiores. El plano integrado de metro y ferrocarril suburbano de Berlín se muestra en la Figura 2.1.

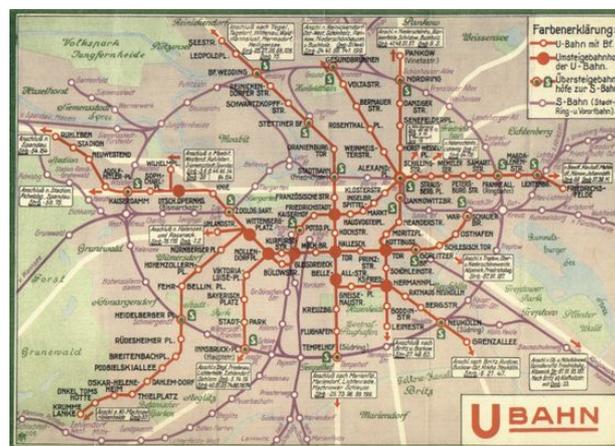


Figura 2.1. Plano integrado del metro y ferrocarril suburbano de Berlín en 1934. Presenta una notable coordinación inexistente en la época y que no aparecerá hasta decenios más tarde otras ciudades. Fuente: (TransitMap Berlin, 2018)

Desafortunadamente, con la ejecución del muro y la división de la ciudad, Berlín perdió este esquema de transporte. Aún así, los conceptos del sistema fueron recogidos por otras ciudades que sí pudieron aplicarlos eficientemente, como es el caso de París.

2.2 París

En su área central (anillo de 100 km² y unos 12 km de diámetro), París cuenta con un servicio de metro con extensiones hacia zonas urbanas contiguas (separadas hasta 10 km respecto al centro del anillo) y con paradas separadas unos 600 m entre sí, y da servicio a una zona altamente densa tanto en población como en lugares de trabajo.

El metro parisino está compuesto por 16 líneas y 302 estaciones, con una velocidad comercial que oscila entre 20 km/h y 40 km/h según la configuración de cada línea. El servicio es prestado por metro convencional o sobre neumáticos, éste último para maximizar la capacidad de arranque-frenado del tren en cortas distancias entre paradas. La Figura 2.2 se muestra el plano de dicho metro en la actualidad.



Figura 2.2. Plano del metro de París, con una red mallada en la zona central y ramificaciones hacia el ámbito metropolitano. Fuente: (RATP, 2018)

El servicio ferroviario de cercanías es prestado desde 1970 por el RER (Réseau Express Regional). Es un sistema sustancialmente más rápido que el metro, principalmente por tener una distancia entre paradas ligeramente superior a los 2 km, frente a los 600 m del metro. Además, funciona perfectamente como metro en el interior de la ciudad y está perfectamente conectado con el propio sistema de metro parisino.

La red de RER se configuró inicialmente como construida nueva y promovida por la compañía de metro. Esto facilitó la integración de los sistemas metro y RER. Solo la línea de RER E es terminal en París, mientras que las otras cuatro líneas son pasantes. Además, las líneas de RER están conectadas con estaciones principales de París como Gare du Nord, de Lyon, d'Austerlitz o de Saint Lazare. Tener tantas líneas pasantes habilita la continuación de las líneas por el interior de la ciudad, entrando por un extremo de la ciudad y saliendo por el opuesto. De esta forma, París ha conseguido superar satisfactoriamente el problema de las estaciones *cul de sac*, como sucede hoy en día en Londres o Barcelona. La Figura 2.3 muestra el plano del RER parisino.

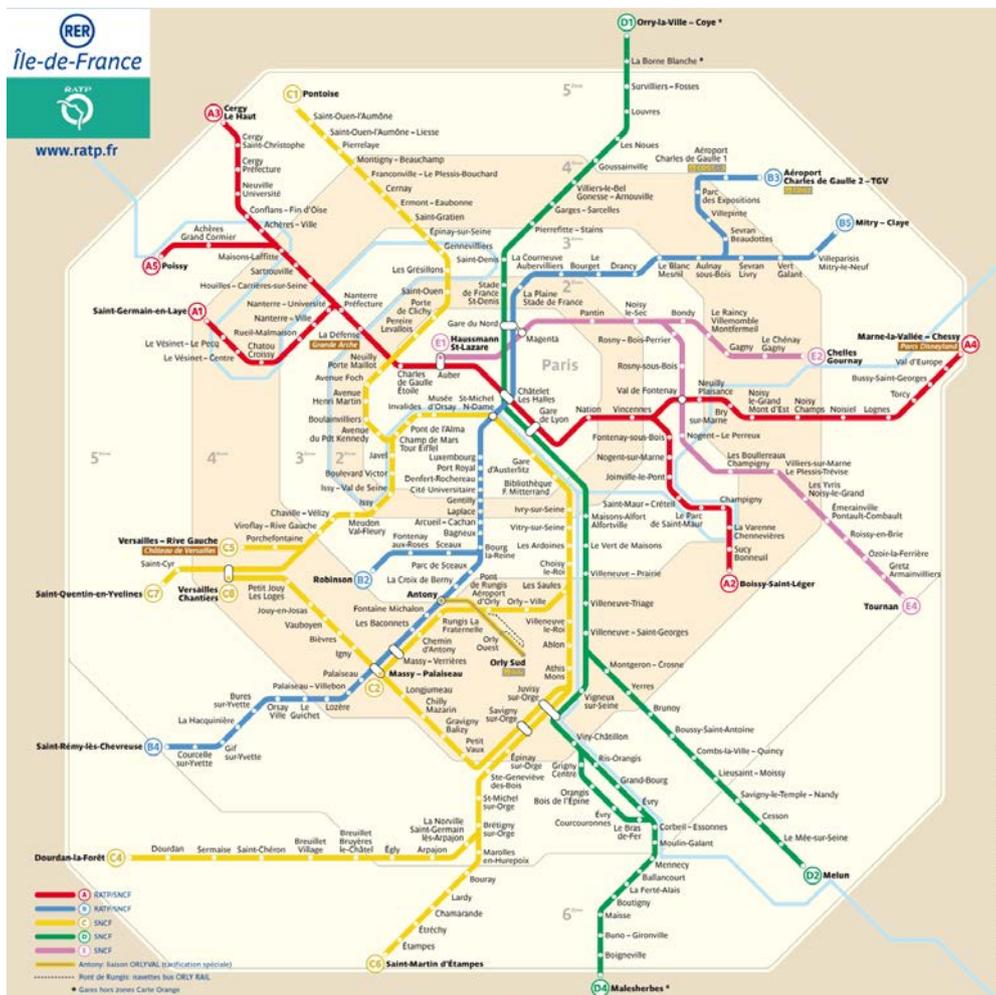


Figura 2.3. Plano del ferrocarril suburbano de París (RER), con cuatro de cinco de las líneas pasantes por el centro de la ciudad y con una función claramente de metro dentro de París ciudad y de cercanías en las bifurcaciones hacia los alrededores de la ciudad. Fuente: (RATP, 2018)

Así ha quedado configurada una red de metro y RER en un sistema integrado ofreciendo cobertura en las zonas urbanas de hasta 35 km del centro, extendiéndose en algunos casos a núcleos más alejados. Aun sin incluir una gran dotación como la de Londres o Berlín, París obtiene unos datos excelentes en cuanto a calidad del sistema suburbano encabezando, después de Tokio (caso aparte por tener un orden de magnitud superior al resto de grandes metrópolis), el rendimiento en viajes por kilómetro y en viajes por habitante.

Queda claro que París supone un modelo a seguir en cuanto al transporte metropolitano. Tal vez su único defecto sea la inexistencia de un servicio anular, de relación directa entre las estaciones o zonas más importantes de la capital, cosiendo el resto de líneas, como sucedía en el caso de Berlín.

2.3 Tokio

La ciudad de Tokio presenta una densidad de población de 6280 habitantes/km², y su área metropolitana, conocida como Área del Gran Tokio, tiene una densidad de población de 4000 habitantes/km². Tienen una población de 13,7 y 38 millones de habitantes, respectivamente.

La red de ferrocarriles suburbanos presenta 10.000 millones de viajeros anuales, superando notablemente cualquier otra red de ferrocarril suburbano o de metro del mundo. Le sigue Moscú con 3.000 millones de viajeros anuales, mientras que París no alcanza los 1.000 millones de viajeros anuales, quedando un orden de magnitud por debajo de la capital nipona.

El éxito de la red de cercanías ferroviarias en Tokio va ligado a esta fuerte demanda, ya que el ferrocarril permite transportar grandes cantidades de pasajeros en una sola rama. Las compañías privadas supieron sacar provecho de esta característica e invirtieron en ferrocarril suburbano llegando a sacar beneficios en su negocio. Estas compañías acompañaban la ejecución de las nuevas líneas con hoteles, teatros e incluso centros comerciales (Hankyu Department Store, 1929), entre otros muchos equipamientos.

Sorprende que las empresas ferroviarias consigan ingresos mayores por sus operaciones inmobiliarias y comerciales que acompañan a las líneas (80%) que por los servicios ferroviarios (20%). Algunos negocios incluso permiten financiar parte de la construcción de líneas.

La red de JR East, de titularidad pública, es la más extensa de Tokio y sus líneas son pasantes. La línea Yamanote es la línea orbital del área más central de Tokio. Tiene 35 km de longitud y cose las principales áreas suburbanas de Tokio. Presenta una frecuencia de 3 minutos en hora punta y completa su recorrido en unos 65 minutos, con una demanda de 1,1 millones de pasajeros al día. Destaca que 27 de las 29 estaciones de la línea Yamanote son intercambiadores con servicios de metro o larga distancia.

Las líneas de compañías privadas no son pasantes, sino que terminan en la Yamanote, justo antes de adentrarse en la ciudad. Alrededor de estas estaciones han surgido centros suburbanos de notable importancia y envergadura. La Figura 2.4 muestra el plano del metro de Tokio y el recorrido de la línea Yamanote.

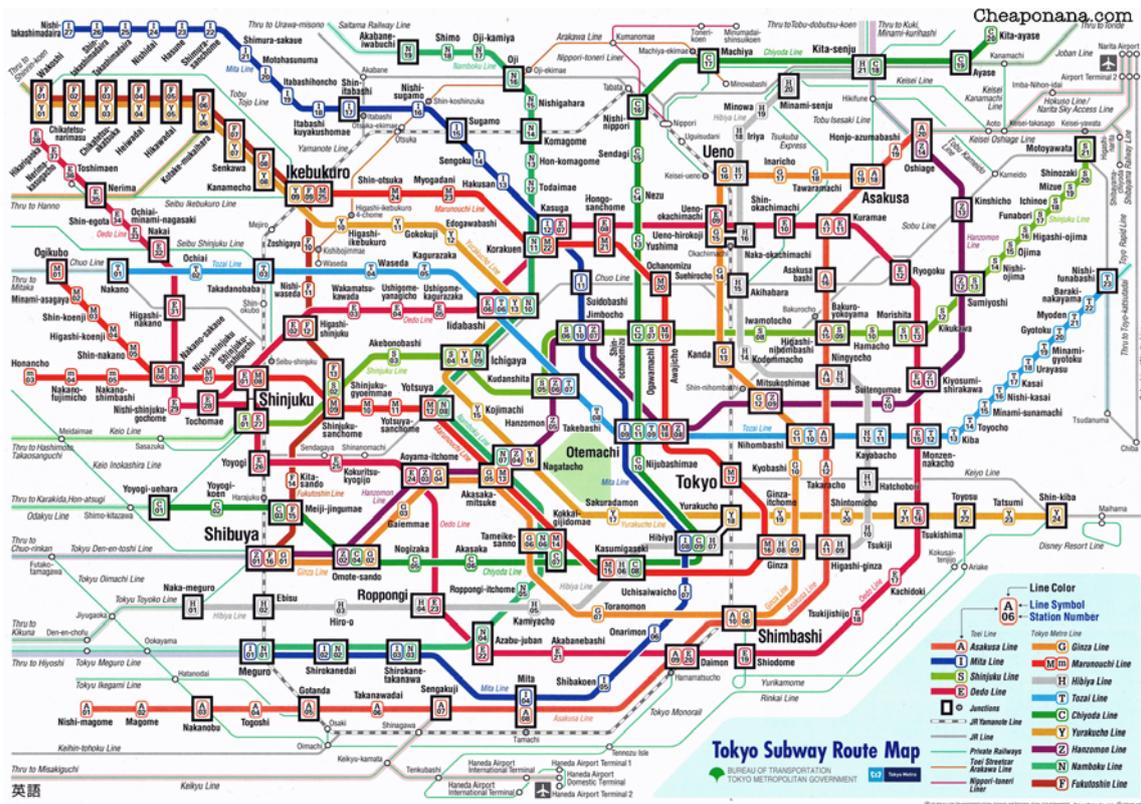


Figura 2.4. Mapa del metro de Tokio. La línea orbital Yamanote se presenta en discontinua negra-blanca, cosiendo estaciones de áreas importantes como Shinagawa, Shibuya Ikebukuro o Ginza. Fuente: (Tokyometro, 2018)

En 1967, cuando un tren de mercancías cargado con combustible para aeronaves explotó al este de la ciudad de Tokio, se decidió abrir una línea de circunvalación para el tráfico de mercancías peligrosas. Así, en 1973 entró en servicio la línea Musashino para tráfico de mercancías. En 1978 entraría también una parte de esta línea para tráfico de viajeros, que junto con la línea Nambu, introducida para pasajeros en 1927, completarían la circunvalación de Tokio.

Así pues, además de la Yamanote, existe otro concepto de orbital más amplio compuesto por dos líneas más exteriores: la Musashino, y la Nambu. La línea Musashino tiene 72 km de longitud y la línea Nambu tiene 45 km de longitud. Ambas líneas juntas forman un arco que recuerda notablemente al proyecto de la LOF, ya que engloba Tokio en un arco de 180° con una longitud total de las líneas de unos 115 km. La demanda de estas líneas es de unos 30.000 viajeros/hora punta. La Figura 2.5 muestra un esquema de las longitudes de las líneas Musashino-Nambu con la Yamanote, así como el área sobre la que prestan servicio.



Figura 2.5. Comparativa en longitud y localización de las líneas Musashino y Nambu con la Yamanote, en Tokio. Fuente: (Elaboración propia).

Vale la pena tener en consideración una ciudad tan densa y grande como Tokio, para ver que con grandes demandas difícilmente una línea de ferrocarril no será rentable. Sin embargo, esta característica no es compartida con ninguna otra ciudad del mundo, ya que Tokio presenta una demanda como mínimo un orden de magnitud superior, y por supuesto tampoco es comparable con el ámbito metropolitano de Barcelona.

2.4 Madrid

A principios del siglo XIX, Madrid contaba con 170.000 habitantes, y en 1850 alcanzó los 280.000. Alcanzó el millón de habitantes en 1930, y ya en 1960 la población empezó a estabilizarse con unos tres millones de habitantes, en un término municipal diez veces mayor que en un inicio, por haber anexionado a otros municipios vecinos. Actualmente se puede hablar de Madrid como una región metropolitana en continuo crecimiento, con una extensión de área metropolitana de unos 2000 km² con una población de 5,5 millones de personas.

En 1851 se inaugura la línea Madrid - Aranjuez, que acabará extendiéndose a Andalucía, con estación terminal en Atocha. En 1854 se inaugura la línea Madrid - Irún, con estación terminal en Príncipe Pío. En 1880 se inaugura la línea Portugal - Madrid, con estación terminal en Delicias.

En 1932 con el Plan de Enlaces se decide conectar estas tres estaciones terminales madrileñas mediante una circunvalación por el oeste, y se incluye una estación en el norte (Chamartín). Bajo el Paseo de la Castellana se ejecuta un túnel que cruza longitudinalmente toda la ciudad, conectando, entre otras estaciones, Príncipe Pío, Delicias, Atocha y Chamartín.

En la década de 1940 se acabaría completando la circunvalación por el oeste, el túnel a finales de la década de 1960 y la circunvalación este durante la década de 1970. La completa unión de estos tramos acabaría dando lugar a la circunvalación de la actual C7 de Cercanías. En 1975 Renfe decidió dar un salto cualitativo en la gestión de las cercanías con nuevos trenes y servicios específicos suburbanos, inaugurando la línea Móstoles-Aluche con características de explotación tipo metro (actualmente circula un tren cada tres minutos y medio).

En la década de 1980 se ejecuta el núcleo ferroviario de Atocha, formado por dos estaciones: Atocha - Cercanías, por donde pasan todas las líneas de Cercanías, y Puerta de Atocha, por donde pasa la Alta Velocidad entre Madrid y Sevilla, inaugurada en 1992. También se ejecuta el Pasillo Verde en 1991, que conecta en túnel Atocha y Príncipe Pío. Cercanías Madrid se convertiría en un producto estrella de Renfe, con modernos trenes que comparten las mismas vías con prioridades de paso que mejoraron considerablemente el servicio.

En la década de 1990 se extiende el servicio a núcleos más alejados y en 2003 se inicia la construcción del túnel Atocha - Chamartín, con estaciones intermedias en Sol y Nuevos Ministerios (actualmente tramos de las líneas C3 y C4). De este modo, todas las líneas de Cercanías se convierten en pasantes y presentan distintas conexiones con servicios de metro.

Madrid cuenta pues, con un sistema de cercanías principalmente radial, con una línea circular que no engloba los municipios de sus coronas sino que aprovecha el túnel bajo el Paseo de la Castellana y que es la arteria principal de Madrid, y completa su circunvalación con el oeste, tal y como muestra la Figura 2.6.

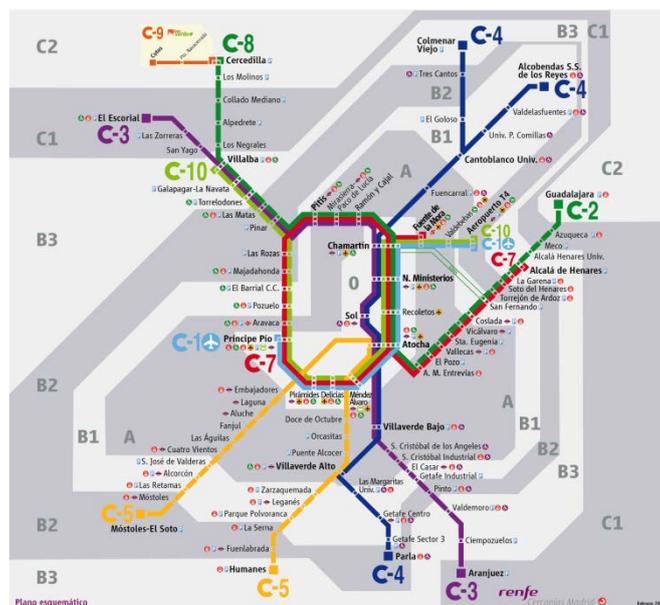


Figura 2.6. Mapa del servicio de cercanías por ferrocarril de Madrid. La línea circular C7 no es orbital, ya que pasa la arteria principal de la capital, aunque más allá de estas estaciones se desvía hacia el oeste y se une con otros municipios. Fuente: (Renfe Cercanías, 2017)

En cuanto a la red de metro, destacar que a través de la línea 8 se da acceso directo al aeropuerto de Madrid-Barajas. La estación Nuevos Ministerios contaba además con terminal de facturación, que funcionó hasta la apertura de la nueva Terminal 4 (T4), momento en que este servicio dejó de prestarse a pesar de que los trenes llegan hasta la nueva terminal desde el 2007.

2.5 Hacia un modelo de transporte metropolitano

A la hora de dimensionar y planificar un servicio de cercanías siempre se deberá tener en cuenta que éste no juega un papel aislado, sino forzosamente integrado con los otros sistemas de transporte como autobuses, ferrocarril metropolitano y vehículo privado, además de la bicicleta y el transporte a pie.

A menudo el sistema de cercanías se utiliza de forma pasante en el centro de la ciudad, y el metro se alarga hasta núcleos alejados. Es decir, se intercambian los papeles de ambos sistemas.

Según (Lizcano Núñez, 2011), existen una serie de factores repetitivos en los distintos servicios ferroviarios de cercanías que caracterizan su dificultad en la planificación y posterior gestión de la explotación de los mismos:

1. La rigidez en planta y alzado de las infraestructuras ferroviarias dificultan su inserción en el territorio y requieren grandes inversiones económicas para su ejecución.
2. El territorio por el que discurren estas infraestructuras generalmente tiene índices de urbanización elevados, incrementando la problemática del punto anterior.
3. Generalmente las infraestructuras del servicio ferroviario de cercanías son compartidas con servicios de Larga Distancia, Regionales o mercancías, limitando la capacidad por llevar velocidades distintas.
4. La demanda presenta picos en a primera hora de la mañana, a mediodía y por la tarde, no siendo uniforme a lo largo del día.
5. El dimensionamiento de los servicios debe realizarse para la hora punta, generando inversiones en material móvil que no se aprovechan de la misma manera en horas valle.
6. Dado que es un tráfico que debe dar servicio a las relaciones con mayor demanda, se generan relaciones radiales entre la periferia y el núcleo de la Región Metropolitana, produciéndose un solapamiento de líneas en la zona central porque deben compartir la misma infraestructura. Este factor limita la capacidad total de la red al número de circulaciones que pueden absorberse en el núcleo central.
7. El servicio teórico idóneo debería ser en función de las coronas centrales, más densamente pobladas, y en base al tiempo de recorrido en las más alejadas. La manera de ajustarse a estas necesidades sería disponer de una superestructura

separada en la zona de intersección, cuadruplicaciones de vía, situación que no se produce en la práctica totalidad de las líneas, debiendo en general ajustarse las machas a las coronas interiores y penalizando los tiempos de recorrido de las zonas alejadas.

8. Hasta la década de 1990 las infraestructuras utilizadas por cercanías no han sido en general construyendo pensando específicamente en sus necesidades, sino que han ido utilizando y adaptándose a las ya existentes cuyas finalidades eran completamente distintas.
9. En ocasiones, determinados intereses locales obligan a disponer estaciones en zonas donde sería aconsejable satisfacer la movilidad de formas alternativas, disminuyendo así la eficacia del servicio de cercanías y del sistema de transportes en general, al utilizar un modo para satisfacer unas necesidades para las cuales existen otros modos más apropiados.
10. Para la eficacia de su gestión precisa conjugar frecuencia, sobre todo en coronas centrales, con disminución de tiempos de viaje, especialmente en las relaciones del exterior con el centro. Esto obligaría a disponer de vías segregadas para optimizar la capacidad, situación que en muy limitados casos se llega a producir, y el desdoblamiento suele suponer volúmenes de inversión no disponibles en muchas ocasiones.

De este modo, las actuaciones llevadas a cabo en la red de Rodalies deberían ajustarse en la medida de lo posible a las premisas citadas anteriormente con el objetivo de dar el mejor servicio posible a los viajeros minimizando los costes de explotación y gestión.

3 El sistema ferroviario de cercanías en Barcelona: Rodalies de Catalunya

Los servicios ferroviarios que transcurren íntegramente en el territorio catalán sobre la red ferroviaria de interés general de estado español reciben el nombre oficial de Rodalies de Catalunya, compuesto por servicios de Regionales, cercanías Barcelona, cercanías Girona y cercanías Tarragona. Rodalies Barcelona aglutina el 91% de los viajeros de Rodalies de Catalunya, y es el sistema que se analizará en este trabajo, al cual se le denomina también simplemente Rodalies.

Para comprender satisfactoriamente el papel de los servicios ferroviarios de cercanías en Barcelona es preciso conocer su origen y evolución hasta el momento actual. Es imprescindible llevar a cabo este estudio para poder preguntarse si Rodalies de Barcelona cumple los requisitos que debe tener un óptimo sistema de cercanías.

3.1 Origen del ferrocarril en España y Barcelona

En el año 1844 el Gobierno de España decide encargar a los ingenieros Juan Supercase y Calixto Santa Cruz un estudio donde se plantean recomendaciones de carácter técnico y legal con el objetivo de encaminar un proceso de implementación del ferrocarril en todo el territorio español, tal y como se estaba haciendo desde inicios del siglo XIX en países como Francia, Alemania o Reino Unido.

Este estudio recibió el nombre de Estudio Supercase, y de él se desprendieron los siguientes conceptos:

- Se recomienda que sea el Estado quién construya directamente las líneas de ferrocarril.
- Si no pudiera ser así, el Estado debe limitar las pretensiones de las compañías privadas a favor del bien público. Esto significa que estas empresas deberán acomodarse a las políticas tarifarias y técnicas impuestas por el Gobierno, recibiendo como contraprestación subvenciones y distintos beneficios fiscales.
- El ancho de la vía debe ser de 6 pies castellanos (1668 mm, ancho ibérico). Esta decisión se fundamentó en la creencia que a mayor anchura mayor estabilidad del tren y por tanto mayor aptitud para circular a grandes velocidades, además de que se pueden introducir calderas más grandes entre ruedas y por tanto mayor potencia al tren para tramos con pendientes elevadas.

En el año 1848 se inauguró la primera línea de ferrocarril en España, que unía las ciudades de Barcelona y Mataró. Se llegó a completar este recorrido en 35 minutos, con una velocidad comercial de unos 40 km/h. Para explotar dicha línea se creó la Gran Compañía Española del Camino de Hierro de Barcelona a Mataró y viceversa. La Figura 3.1 muestra una fotografía con los accionista de la línea, hacia el 1848.

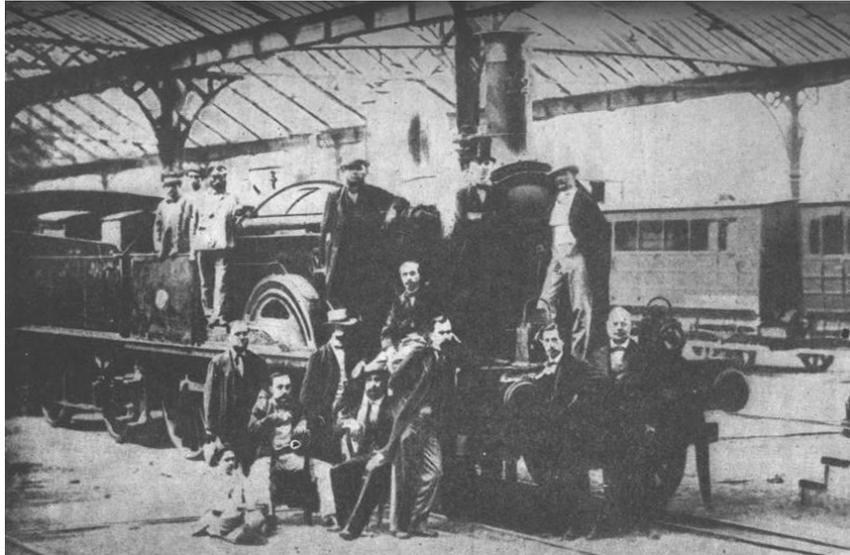


Figura 3.1. Fotografía de constructores y accionistas de la línea Barcelona-Mataró, hacia el año 1848.
Fuente: (Dalmau, 1946)

En 1855 el Gobierno de España aprueba la Ley General de Ferrocarriles con la finalidad de ordenar el desarrollo de las nuevas líneas y facilitar la entrada de capital extranjero a través de subvenciones, libre importación, garantías en caso de guerras y concesiones a 99 años. En los años posteriores se empezaron a crear otras líneas de ferrocarril en Barcelona y también en Madrid con la aparición dos grandes compañías: la MZA (Madrid-Zaragoza-Alicante) y la NORTE (Caminos de Hierro del Norte de España). Años más tarde surgieron Ferrocarril de Barcelona a Zaragoza, Almansa a Valencia y Tarragona, y TBF (Tarragona-Barcelona-Francia). El año 1855 acabará con un total de 400 km de vía en el territorio español.

En 1865 la red ferroviaria en el territorio español contaba con 6.000 km de vía, una cifra notablemente superior a la de 10 años atrás. Sin embargo, el poder industrial de España era muy inferior al de los otros países y las compañías privadas no obtuvieron los beneficios esperados, de modo que surgieron dos acontecimientos:

- Ralentización y parón del proyecto y construcción de nuevas líneas.
- Solicitudes al Gobierno de las compañías privadas para obtener subvenciones y mantener sus servicios.

En 1877 y hasta 1900 proliferaron los ferrocarriles de vía estrecha. Se crearon 2.000 km de vía estrecha y se llegó a los 10.000 km de vía de ancho ibérico, configurando la Red Ferroviaria Estatal. Así pues, los 3.700 km de la MZA y los 3.670 km de la Norte, añadidos a los 1.500 km de la tercera gran compañía denominada Compañía de Ferrocarriles Andaluces conformaron un 75% de la red, mientras que el 25% restante pertenecía a pequeñas compañías que no llegaron a controlar más de 500 km de vías. En el 1921 el mapa de ferrocarriles españoles quedaba configurado tal y como muestra la Figura 3.2.

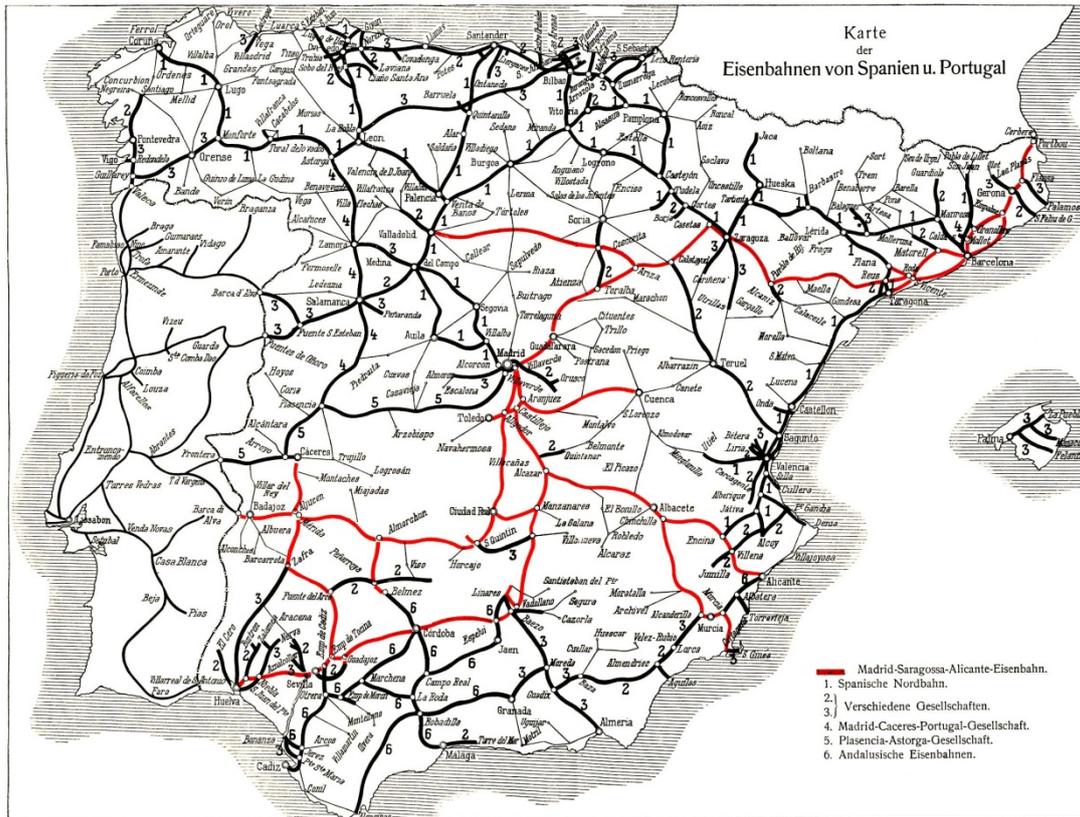


Figura 3.2. Mapa alemán con la red de ferrocarriles del territorio español hacia el año 1921. En rojo, las líneas de la compañía MZA. Fuente: (Röll, 1912)

En 1939 finalizó la Guerra Civil Española que, junto con la falta de mantenimiento durante los últimos años, deterioraron el servicio ferroviario español: miles de kilómetros de tendido se encontraban inservibles, a lo que se unía que el 40% del parque móvil estaba destruido y el restante por reparar. Ante esta situación, el nuevo Estado franquista nacionalizó las compañías ferroviarias, incapaces de ejercer sus labores de gestión y mantenimiento adecuadamente, con el objetivo de mejorar el material rodante y el tendido ferroviario. Este proceso de nacionalización podría verse como un rescate a estas compañías que no tenían capacidad para mejorar el estado de las líneas y el servicio a clientes.

En 1941 se creó la compañía RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles). RENFE controlará todas las líneas de ferrocarril de ancho ibérico y las de vía estrecha del ferrocarril eléctrico de Guadarrama y de los ferrocarriles de Cercedilla-Navacerrada. RENFE se encontró con una gran variedad de líneas con estándares, reglamentos y maquinaria diferente que se deberá normalizar y unificar. Con la falta de recursos después de la guerra y el aislamiento internacional, el trabajo de reparación de las líneas se encomendó en gran parte a prisioneros republicanos.

En los años 50 los EEUU dieron ayudas a España que permitieron comprar nuevo material motor y desarrollar en Plan General de Electrificación.

En los años 60 el Banco Mundial recomendó no construir nuevas líneas y destinar recursos a mejorar las existentes, aun en un estado precario. Bajo esa premisa, el Estado elaboró el Plan Decenal de Modernización previsto entre el 1964 y el 1973 con medidas de mejora. Una medida a destacar es la de unificación de estaciones en las grandes ciudades y la inauguración de Barcelona-Sants y Madrid-Chamartín, ya que hasta la fecha los servicios nacían o morían en una terminal como Estación de Francia.

Entre el 1973 y el 1986 el Gobierno centró sus inversiones en la carretera y el ferrocarril fue quedando obsoleto y marginado. En el 1973 el petróleo alcanzó niveles de precios notablemente altos, pudiendo haber sido el ferrocarril una buena alternativa al vehículo de combustible fósil. Desgraciadamente no fue así por culpa del mal servicio que entonces ofrecía el ferrocarril, que se iba deteriorando cada vez más.

En los años 80 la sociedad percibió que las carreteras estaban llegando a su nivel de capacidad y se recuperó la idea del ferrocarril como alternativa para transportar grandes cantidades de viajeros de forma más ecológica y eficiente. Es entonces cuando surge un cambio de tendencia y renacen los dos nuevos ferrocarriles: el de alta velocidad para distancias no superiores a 700 km y el de cercanías para la comunicación del núcleo urbano central con los núcleos urbanos periféricos en las áreas metropolitanas.

En 1984 se firmó el contrato-programa entre RENFE y el Estado de España, en el cual:

- RENFE se comprometía a reducir los costes de explotación y mejorar el servicio.
- El Estado se comprometía a aportar los recursos necesarios para sanear la empresa y planificar las inversiones en el transporte, eliminando la competencia desigual entre los distintos medios.

Cabe destacar una cláusula del contrato en el que especificaba que a partir del 1 de enero del 1985 el Estado dejaría de subvencionar cualquier línea altamente deficitaria, que se entiende como una línea incapaz de cubrir más del 23% de sus gastos, y por tanto quedaría eliminada. En efecto, según esta medida se deberían haber cerrado 3.065 km de líneas. Sin embargo, el esfuerzo de algunas comunidades autónomas y las características especiales de algunas líneas hizo disminuir el número de kilómetros de línea a cerrar hasta 913 km el 1 de enero de 1985, a los que se sumaron más 550 km cerrados desde la fundación de RENFE y 1.003 km cerrados en años posteriores.

En 1985 el déficit de RENFE quedaba en 205.665 millones de pesetas (1.224 millones de euros), que suponía cuatro veces más que el dinero invertido en ferrocarril por el Estado durante el mismo año.

En 1986 España entró en la Comunidad Económica Europea (CEE). Este acontecimiento supuso un aumento del nivel de vida de los españoles que forzó a España a modernizarse. Tras años de colapso de la red de carreteras, especialmente en la entrada de las ciudades, se optó por retomar el ferrocarril.

En 1987 se aprobó mediante Consejo de Ministros el Plan de Transporte Ferroviario (PTF), que pretendía invertir 2,1 billones de pesetas (2.100.000.000.000 pesetas, 12.650.000.000 €) en el ferrocarril entre los años 1987 y 2000, con una gran parte de esta inversión centrada en la Expo de Sevilla y en los Juegos Olímpicos de Barcelona, ambos en el 1992. Esta mareante cantidad de dinero chocó con las bajas inversiones en el ferrocarril hasta la fecha, que no llegaban a los 50.000 millones de pesetas anuales. Entre estas medidas cabe destacar la nueva vía entre Madrid y Sevilla para circular hasta a 300 km/h con vía internacional (1435 mm), que sería inaugurada para la Expo del 1992, dando entrada a la Alta Velocidad en España. La Figura 3.3 muestra las actuaciones previstas en el PTF.

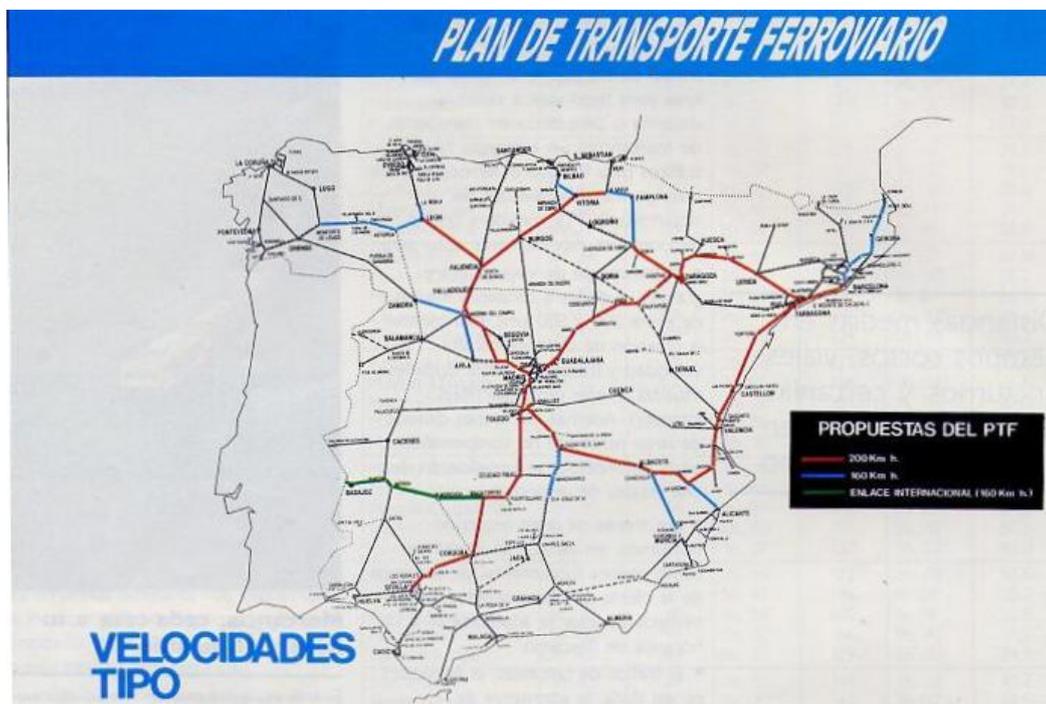


Figura 3.3. Actuaciones sobre la infraestructura previstas en el PTF de 1987. Fuente:(Ministerio de Obras Públicas, 1987)

En 1994 se aprobó el Plan Director de Infraestructuras 1993-2007 fijó un presupuesto de más de 17.000 millones de euros destinado a desarrollar sobretudo la Alta Velocidad y las cercanías, centrandó éstas últimas sobretudo en Madrid, siguiendo las pretensiones del Plan de Transporte Ferroviario. La Figura 3.4 muestra las actuaciones previstas en el PDI 1994.



Figura 3.4. Líneas de Alta Velocidad y otras actuaciones estructurantes previstas para el PDI en 1994. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 1994)

En el 2000 se introdujo el Plan de Infraestructuras de Transporte (PIT), con la intención de dedicar una inversión del 50% de las infraestructuras al ferrocarril entre el 2000 y el 2007, un porcentaje elevadísimo comparado con los años anteriores. El presidente José María Aznar afirma que ninguna capital de provincia estará a más de 4 h 30 min de Madrid, una decisión polémica por la alta radialidad que debería tener de la nueva red de Alta Velocidad y por la cuestionable necesidad de que todas las capitales de provincia deban estar a 4h de Madrid en detrimento de otras conexiones para otros núcleos urbanos del país. La Figura 3.5 muestra las actuaciones previstas en el PIT 2003.



Figura 3.5. Situación del PIT en octubre del 2003. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2000)

A inicios de la década de los 2000, la Unión Europea (UE) creyó necesario que el mercado ferroviario de los Estados de la UE se liberalizase, permitiendo el libre paso de trenes por distintos estados reduciendo trabas burocráticas y tecnológicas. En definitiva, se propuso que la gestión de las infraestructuras ferroviarias se llevara a cabo en una empresa y que la explotación y operación del material rodante se llevara a cabo en otra empresa distinta. En España esto suponía un problema ya que la misma empresa, RENFE (entidad pública empresarial española dependiente del Ministerio de Fomento), se encargaba tanto de la infraestructura ferroviaria como de la explotación de los trenes, de modo que RENFE pasaría a tener los días contados.

El 1 de enero de 2005 desapareció finalmente RENFE y se crearon dos nuevas empresas, con dos nuevos logotipos (ver Figura 3.6):

- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF): entidad pública empresarial española dependiente del Ministerio de Fomento que tiene como objetivo la construcción y gestión de la infraestructura ferroviaria estatal. ADIF heredó la infraestructura de las extintas RENFE y FEVE. Dentro de ADIF se encuentra el antiguo Gestor de Infraestructura Ferroviarias (GIF) y la parte primitiva de la Renfe prestadora de servicios. En 2015 ADIF administraba más de 15.300 km de vía y 1.900 estaciones.
- Renfe Operadora: entidad pública empresarial española dependiente del Ministerio de Fomento que tiene como objetivo operar el material y los servicios ferroviarios. También se la conoce como Renfe.

Así pues, ahora otras empresas operadoras de ferrocarriles podrían competir con Renfe Operadora para dar servicio a los clientes, tanto para el tráfico de mercancías como de pasajeros.

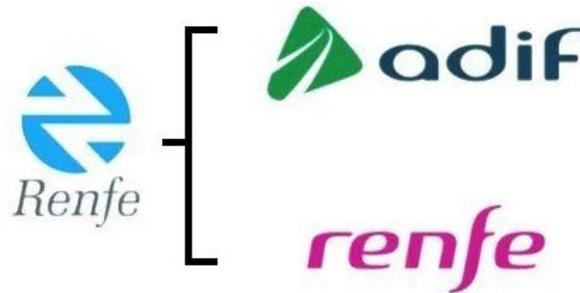


Figura 3.6. Logotipos de ADIF y Renfe, las dos empresas creadas tras la desaparición de RENFE. Fuente: (Elaboración propia a partir de *Renfe, origen y destino de una imagen*, de RENFE, 2018)

3.2 Evolución de los servicios de ferrocarril de cercanías de Barcelona

El origen de las cercanías de Barcelona se remonta al año 1984, con la aparición del ya mencionado contrato-programa entre RENFE y el Gobierno de España.

En el 1989 se crea la unidad de negocio de cercanías. Este hecho da una importancia relevante al concepto de cercanías, ya que supone la división de la empresa ferroviaria especializada en este tipo de servicio.

En el 1991 se tienen los primeros resultados de las cercanías de Catalunya, con un incremento importante de la oferta que permite captar una gran demanda de viajeros, además de un material móvil nuevo específico para este servicio. El tráfico pasará por los túneles de Catalunya y Passeig de Gràcia.

En el 2001 aparece la integración tarifaria, que se completaría en el año 2002 para todo el núcleo poblacional.

En el 2005 RENFE desaparece, dando lugar a las compañías ADIF y Renfe Operadora, encargadas de la infraestructura ferroviaria y de la operación de los trenes, respectivamente.

En el 2010 Rodalies de Catalunya pasa a ser titularidad del Gobierno de Catalunya, la Generalitat de Catalunya, de acuerdo al Real Decreto 2034/2019 y al Real Decreto 1598/2010:

Real Decreto 2034/2009, de 30 de diciembre, sobre traspaso a la Generalitat de Catalunya de las funciones de la Administración General del Estado correspondientes a servicios de transportes de viajeros por ferrocarril de alrededores.

Real Decreto 1598/2010, de 26 de noviembre, de traspaso a la Generalitat de Catalunya de las funciones de la Administración General del Estado correspondientes a los servicios ferroviarios regionales de transportes de viajeros sobre la red de ancho ibérico de la red ferroviario de interés general.

ADIF es el titular de la infraestructura y Renfe Operadora es el operador de la misma, ambas entidades empresariales dependientes del Ministerio de Fomento del Gobierno de España.

Estos tres últimos párrafos introducen un escenario de un sistema de cercanías que mueve actualmente cada día más de 360.000 personas en el ámbito metropolitano de Barcelona (Martín, 2017) pero que es gestionado por dos gobiernos distintos (el español y el catalán) y tres empresas distintas (ADIF, ATM y Renfe).

Resulta de relevante importancia comprender qué competencias corresponden a la Generalitat de Catalunya y qué competencias corresponden a la Administración General del Estado en la actualidad, mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Correspondencia de las competencias en Rodalies de Catalunya. Fuente: (Lizcano Núñez, 2011)

Correspondencia de las competencias en Rodalies de Catalunya	
Generalitat de Catalunya	Administración General del Estado
Planificación del servicio ferroviario	Titular de la infraestructura ferroviaria (ADIF)
Control sobre las tarifas	Titular de las estaciones (ADIF)
Elección del operador ferroviario	Otorgación de licencias a empresas ferroviarias
Fijación de los derechos y deberes de los usuarios del servicio	Regulación del material y formación del personal
Fijación de los niveles de calidad del servicio	Seguridad y regulación en la circulación
Inspección del servicio	Establecimiento de las tasas o cánones por uso de la infraestructura ferroviaria
Coordinación con el resto de modos de transporte	
Aplicación del régimen sancionador y control de fraude	
Financiación de los servicios mínimos en casos de conflictos colectivos	

El traspaso de algunas competencias del gobierno español al gobierno catalán ha propiciado disfunciones en la gestión de Rodalies, descontentando a los usuarios en los últimos años con severos retrasos. En efecto, la EMEF 2015 publicó la valoración de usuarios según el medio de transporte y el servicio de Renfe Rodalies fue el peor parado, con una cualificación de 6,2 sobre 10, tal y como muestra la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Nota media de los usuarios a los distintos medios de transporte. Fuente: (EMEF 2015)

Medio de transporte	Nota media
Bicicleta	8,2
A pie	8,0
Moto/ciclomotor	8,0
Tranvía	7,7
Coche	7,4
FGC	7,2
Taxi	6,9
Bus urbano de Barcelona (TMB)	6,9
Bus interurbano	6,8
Bus urbano de otros municipios	6,7
Renfe regional y media distancia	6,6
Metro	6,6
Renfe Rodalies	6,2

Destaca que el servicio de FGC, que cubre un tipo de desplazamiento muy parecido al de Rodalies (ambos podrían considerarse como servicios ferroviarios de cercanías en Barcelona), tenga una nota de 7,2, es decir, 1 punto mayor que la nota de Renfe Rodalies, que es de 6,2. A favor de Rodalies, cabe decir que tiene una red sustancialmente más compleja que la de FGC.

El historial de la segregación de las competencias puede resultar complejo de entender. En la Tabla 3.3 de la página 25 se expone este historial, con los hitos más relevantes a lo largo de los últimos años en la administración y gestión del servicio de Rodalies.

Tabla 3.3. Cronología de administración y gestión de Rodalies de Catalunya. Fuente: (Lizcano Núñez, 2011)

1989 **Inicio de la explotación de las actuales cercanías de Barcelona**

	Infraestructura	Definición oferta Nivel de servicio Tarifas	Operador ferroviario
Administración Responsable	Ministerio de Fomento	Ministerio de Fomento	Ministerio de Fomento
Empresa gestora	RENFE	RENFE	RENFE

2001 **Incorporación de RENFE a la integración tarifaria**

	Infraestructura	Definición oferta Nivel de servicio Tarifas	Operador ferroviario
Administración Responsable	Ministerio de Fomento	Ministerio de Fomento*	Ministerio de Fomento
Empresa gestora	RENFE	RENFE	RENFE

**Al incorporarse Cercanías RENFE como operador en la integración tarifaria, se adopta la política tarifaria de la Generalitat de Catalunya en los títulos integrados.*

2005 **Segregación de RENFE en ADIF y Renfe Operadora**

	Infraestructura	Definición oferta Nivel de servicio Tarifas	Operador ferroviario
Administración Responsable	Ministerio de Fomento	Ministerio de Fomento	Ministerio de Fomento
Empresa gestora	ADIF	Renfe	Renfe

2010 **Traspasso de la titularidad del servicio de cercanías a la Generalitat**

	Infraestructura	Definición oferta Nivel de servicio Tarifas	Operador ferroviario
Administración Responsable	Ministerio de Fomento	Departament de Política Territorial i Obres Públiques	Departament de Política Territorial i Obres Públiques
Empresa gestora	ADIF	ATM/Renfe*	Renfe**

**La estructura de la oferta y calidad de servicio es fijada por la Generalitat de Catalunya, a través del Departament de Política Territorial i Obres Públiques, con el apoyo de la Autoritat del Transport Metropolità (ATM) y de Renfe como empresa conocedora y experta que desarrolla la explotación del servicio.*

*** La Generalitat de Catalunya tiene la competencia para designar el operador ferroviario que explote el servicio de Rodalies. Desde 2010 lo desarrolla Renfe Operadora.*

3.3 Demanda de las líneas de Rodalies de Barcelona

Los datos de demanda de la R8 pueden servir como orientación para darse cuenta de la demanda que tendría la LOF una vez implementada, ya que la R8 cubre una parte del tramo que pretendía cubrir la LOF, aunque no une Sabadell con Terrassa, donde la demanda se prevé algo mayor porque son núcleos de población más grandes que el resto. Cabe recordar que Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat y Badalona quedan fuera de la LOF.

Cuando la demanda de desplazamientos a lo largo de distintos núcleos no es suficiente, cabría la posibilidad de plantearse una solución más económica, como podría ser un servicio de buses por las carreteras existentes, y una vez este servicio de buses quedara saturado se implementaría la línea de ferrocarril para aportar mayor capacidad.

Resulta relevante ver cuál es la demanda de las distintas líneas de Rodalies en día laborable para así determinar cuáles son las líneas más potentes y que tienen un mayor impacto en el área metropolitana. La Figura 3.8 muestra estas demandas de Rodalies.

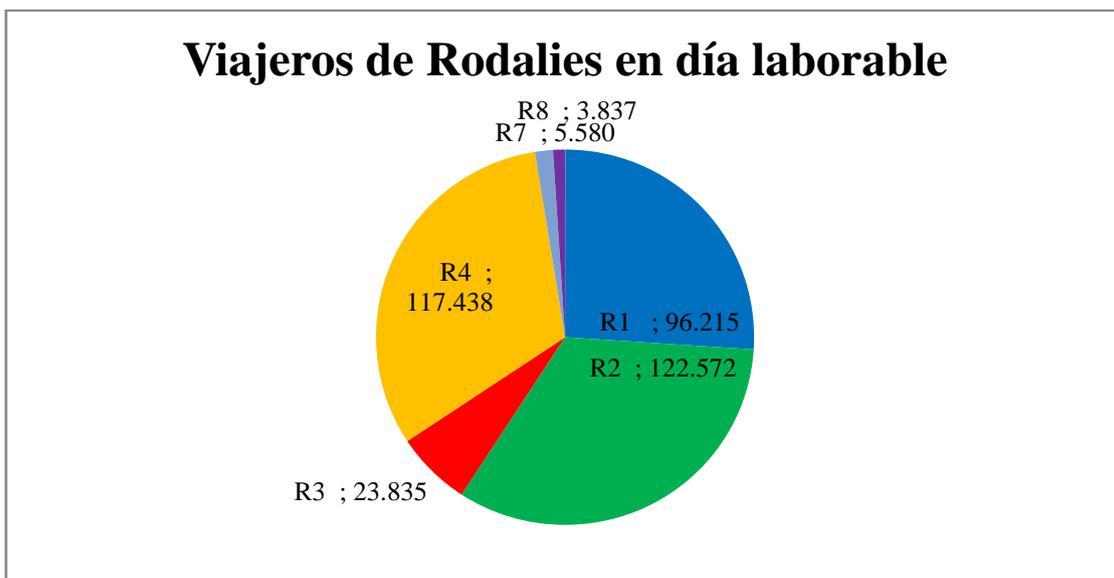


Figura 3.8. Distribución porcentual en cada línea de los viajeros en el servicio de Rodalies en día laborable. Total: 369.477 viajeros. Fuente: (Martín, 2017)

Claramente se observa que las líneas que se reparten la mayor parte de la demanda son la R1 (Barcelona - Maçanet por el litoral), R2 (Barcelona - Sant Vicenç de Calders por el litoral) y R4 (Manresa - Terrassa - Sabadell - Barcelona - Sant Vicenç de Calders por el interior). Después aparece la R3 (Barcelona - Vic) con una demanda entre 5 y 6 veces inferior a las anteriores. Seguidamente aparece la R7 (Barcelona - Cerdanyola UAB), con una demanda baja pero que al fin y al cabo tiene la función de lanzadera entre Barcelona y la UAB, con un intervalo de paso de 30 minutos. Y por último aparece la R8 (Martorell - Granollers por Cerdanyola UAB), con una demanda entre uno y dos órdenes de magnitud inferior a las tres líneas más potentes de la red.

Sin embargo, el PDU de la LOF estimaba una demanda de 38.000 viajeros/día con la entrada de la línea, y de 96.000 viajeros/día para el 2026 (un 30% de ellos captados del vehículo privado). Son datos sustancialmente optimistas viendo el tráfico que tiene la R8 actualmente, que es entre uno y dos órdenes de magnitud inferior a los estimados. Si bien la LOF tiene un recorrido superior al de la R8, sorprende una estimación tan elevada, en especial si se tienen en cuenta los datos de las tres líneas con mayor tráfico y que se dirigen las tres a Barcelona (R1, R2, R4), con un tráfico de viajeros en 2015 de 98.200 viajeros/día.

4 La Línea Orbital Ferroviaria

La Línea Orbital Ferroviaria de Barcelona (LOF) es un proyecto de ferrocarril dentro del sistema de Rodalies de Barcelona que pretende conectar las ciudades de Mataró (al norte de Barcelona) y Vilanova i la Geltrú (al sur de Barcelona) pasando por municipios de la periferia de la capital catalana como Vilafranca del Penedès, Martorell, Terrassa, Sabadell y Granollers sin entrar en la ciudad de Barcelona, rompiendo así la radialidad actual del sistema de Rodalies, tal y como muestra la Figura 4.1.

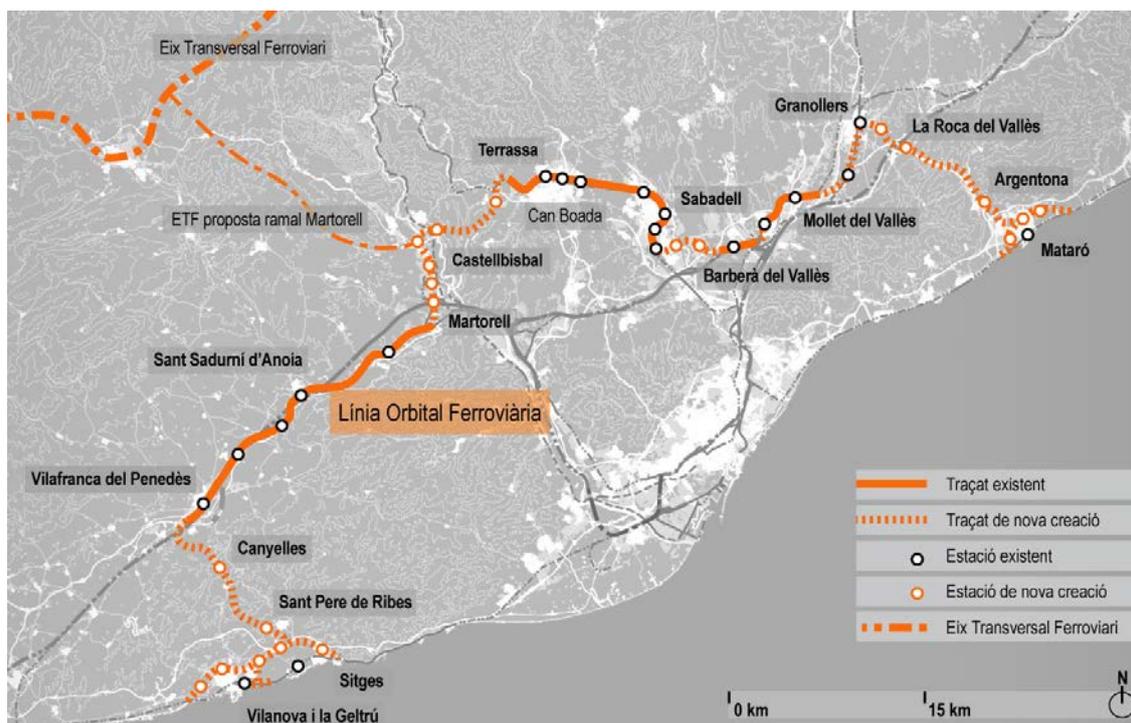


Figura 4.1. Última versión del trazado de la LOF según aparece en el Plan Director Urbanístico de la Línea Orbital Ferroviaria en el 2010. Fuente: (Anuari Territorial de Catalunya, 2010)

4.1 Cronología de la LOF

El principal antecedente de la LOF se encuentra en el Plan Director de Infraestructuras de transporte público colectivo 2001-2010 (PDI) de la Región Metropolitana de Barcelona (RMB), el cual fue aprobado por el consejo de administración de ATM el 25 de abril del 2002.

En el PDI, capítulo Despliegues del PDI, se destina un apartado a los estudios de viabilidad a realizar, entre los cuales se encuentra la LOF, con el objetivo de tener mayor conocimiento de causa y poder tomar la decisión de incorporar esta actuación durante el segundo lustro del PDI o en documentos futuros. Este estudio de viabilidad fue presentado en mayo del 2004 bajo el título "Estudio de corredores y alternativas. Estudio conjunto de viabilidad de la nueva línea ferroviaria orbital".

En el 2005 la Comisión de Urbanismo de Catalunya (CUC) acordó el inicio del procedimiento de formulación del Plan Director Urbanístico para la concreción y delimitación de las reservas de suelo de la LOF y el Govern de la Generalitat encargó a la entidad pública Infraestructures Ferroviaries de Catalunya (Ifercat) la redacción de los estudios necesarios para este plan. De acuerdo con lo que previó la legislación vigente, la CUC tramitó a los ayuntamientos afectados el documento "La Línea Orbital Ferroviaria en la Región Metropolitana de Barcelona en el marco de la nueva planificación de infraestructuras de Catalunya". A lo largo del 2005 y 2006 se realizaron distintas consultas institucionales y reuniones con los municipios y las comarcas afectadas por el paso de estos ejes con el objetivo de encontrar una definición adecuada al nuevo trazado. El 30 de diciembre de 2005 se presentó el estudio de dicho trazado.

En el 2006 el Govern de la Generalitat de Catalunya aprobó el Plan de Infraestructuras del Transporte de Catalunya (PITC). Este plan se enmarca en el conjunto de la política de planificación, teniendo en cuanto en cuanto a materia ferroviaria los siguientes planes:

- Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte (PEIT) del Ministerio de Fomento.
- Plan Director de Infraestructuras 2001-2010 (PDI) de la ATM.

En el 2006 y en el 2007 Ifercat realiza los estudios informativos de distintos tramos de la línea y de impacto ambiental del conjunto de la línea, asistido por distintas ingenierías catalanas.

En el 2008 se aprueba inicialmente el Plan Urbanístico de la LOF y se abre un plazo de exposición pública para que particulares, entidades y ayuntamientos puedan presentar alegaciones.

En el 2010 el Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP) aprueba finalmente el Plan Director Urbanístico después del informe favorable de la CUC. El documento concreta las reservas de suelo necesarias para la futura línea y prevé ligeras modificaciones de trazado respecto al documento aportado inicialmente y sometido a información pública.

En junio del 2011 se inaugura la R8, que a primera vista podría considerarse como el arco central de la LOF, ya que es actualmente la única línea de Rodalies que no pasa por Barcelona, uniendo las localidades de Martorell y Granollers. Sin embargo, es importante destacar que esta línea no formaba parte del proyecto de la LOF. Esta línea se constituyó aprovechando el ramal de mercancías entre Castellbisbal y Mollet (que se implementó en 1982 para que las mercancías peligrosas y nucleares que salían de las centrales de Vandellòs y Ascó hacia Europa no pasaran por Barcelona), introduciendo algunas estaciones a lo largo de la línea, por la cual circulan trenes con un intervalo de paso de una hora, con 40 km de longitud y 8 estaciones, como muestra la Figura 4.2.

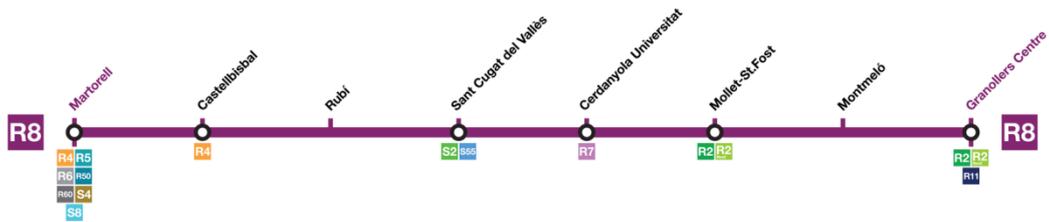


Figura 4.2. Termómetro de la línea R8 de Rodalies. Fuente: (Trenscat, 2017)

Con la introducción de este arco, faltarían por unir por un lado el tramo de Martorell hasta Vilafranca y luego hasta Vilanova y por otro lado el tramo de Granollers hasta Mataró para tener la LOF completada. La Figura 4.3 muestra las líneas ferroviarias existentes en el tramo que cubre la R8.



Figura 4.3. Tramo de la línea de mercancías desde Martorell a Castellbisbal (turquesa) y de Castellbisbal hasta Mollet (azul marino), reconvertido desde 2011 en R8 con tráfico de pasajeros además del tráfico de mercancías ya existente. Fuente: (Chomenko, 2007)

Aún así, es necesario insistir en que esta línea no es la que se planificó como arco central de la LOF, ya que pasa por Sant Cugat y no por Sabadell-Terrassa aprovechando la existente R4. Ni siquiera se introdujo un intercambiador con la R4 en la zona de Sabadell o Terrassa, únicamente en Castellbisbal.

El tiempo de desplazamiento desde Granollers hasta Martorell es de aproximadamente 55 minutos usando R8 y de 1 hora 30 minutos pasando por Barcelona, lo que supone una reducción del 40% del tiempo. De todos modos, para la poca demanda que tiene la R8, ya mencionada en el apartado 3.3, resulta conveniente plantearse la posibilidad de instaurar un servicio de transporte alternativo en lugar de un ferrocarril para cubrir estos desplazamientos.

4.2 Características principales de la LOF según PDU de la LOF el 2010

En el 2010 se realizaron las reservas de suelo necesarias para la ejecución de la LOF. El Ayuntamiento de Mataró propuso una pequeña variación del trazado en su municipio tal y como se muestra más adelante en la Figura 4.8. Las características principales de la LOF se recogen en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1. Características principales de la LOF según el PDU de la LOF del 2010. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

Longitud total	120 km	Vía en túnel	72 km (60%)
Vía de nueva construcción	78 km (65%)	Vía en viaducto	6 km (5%)
Vía existente	42 km (35%)	Vía en terraplén	42 km (35%)
Estaciones de la línea	42	Ancho de vía	Ibérico (1668 mm)
Estaciones de nueva construcción	23	Radio mínimo	720 m
Estaciones existentes	19	Pendiente máxima	20 mm/m
Estaciones con intercambiador	19	Municipios servidos	26
Número de trenes	10	Velocidad máxima	120 km/h
		Velocidad comercial	60 km/h

A continuación se exponen las características más relevantes de la LOF y su trazado en planta para cada uno de los tramos en los que se dividió el estudio, dentro del Plan Director Urbanístico de la Línea Orbital Ferroviaria: Tramo 1. Vilanova i la Geltrú / Sitges a Vilafranca del Penedès, Tramo 2. Martorell - Terrassa, Tramo 3. Sabadell - Granollers y Tramo 4. Granollers - Mataró.

4.2.1 Tramo 1. Vilanova i la Geltrú / Sitges a Vilafranca del Penedès

En el acceso a Vilanova se optaría por entrar por debajo de la Ronda de Europa, permitiendo el acceso directo a la estación actual de Vilanova y evitando el paso por el ámbito de Roquetes.

La LOF nacería de la conexión con la R2 de Rodalies en Vilanova, dando servicio a los núcleos de Vilanova y Roquetas, siguiendo al norte hacia Sant Pere de Ribes y Canyelles, mejorando la localización y accesibilidad de la estación.

Posteriormente la LOF cruzaría el espacio natural de Olèrdola en túnel y se conectaría con la R4 de Rodalies al este de Els Monjos. Continuaría por la vía de la actual R4 hasta Vilafranca del Penedès, la Granada, Sant Sadurní d'Anoia, Gelida y Martorell.

Inversión prevista en el 2008 según PDI de la RMB-ATM 2008-2015 para el tramo: 1.104,3 M€ La Figura 4.4 muestra el trazado en este tramo.

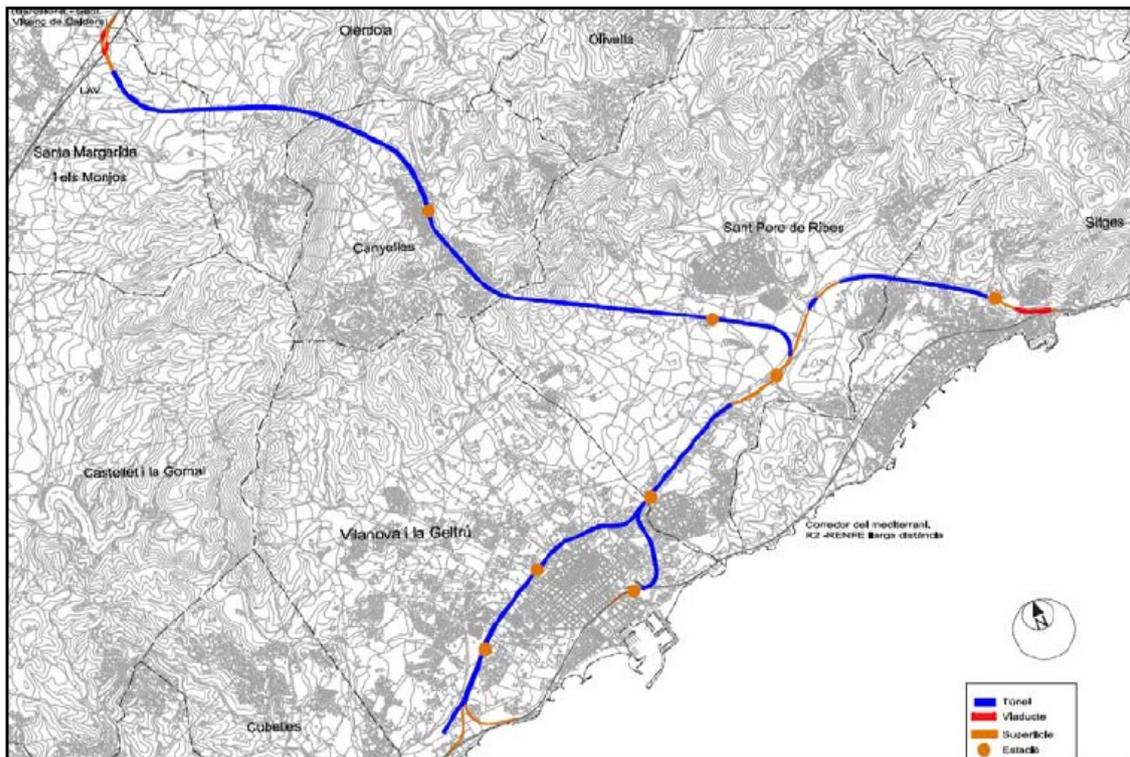


Figura 4.4. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 1 de la LOF, desde Vilanova/Sitges hasta el enlace con R4 al este de Els Monjos. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

4.2.2 Tramo 2. Martorell - Terrassa

Entre las localidades de Martorell y Abrera se discurriría por el corredor existente y la zona de polígonos industriales en el oeste de estos municipios. Se daría servicio al núcleo urbano de Martorell, al polígono de Ca n'Amat y a Abrera.

Entre Abrera y Terrassa, la línea aprovecharía el corredor de la B40 o Quart Cinturó y conectaría con la R4 en Viladecavalls, donde se ejecutaría una nueva estación.

A partir de aquí seguiría por la vía de la R4 entre Terrassa y Sabadell, pasando por Terrassa Can Boada, Terrassa, Terrassa Est, Can Llong, Sabadell Nord, Sabadell Centre y Sabadell Sud.

Inversión prevista en el 2008 según PDI de la RMB-ATM 2008-2015 para el tramo: 873,3 M€ La Figura 4.5 muestra el trazado en este tramo.

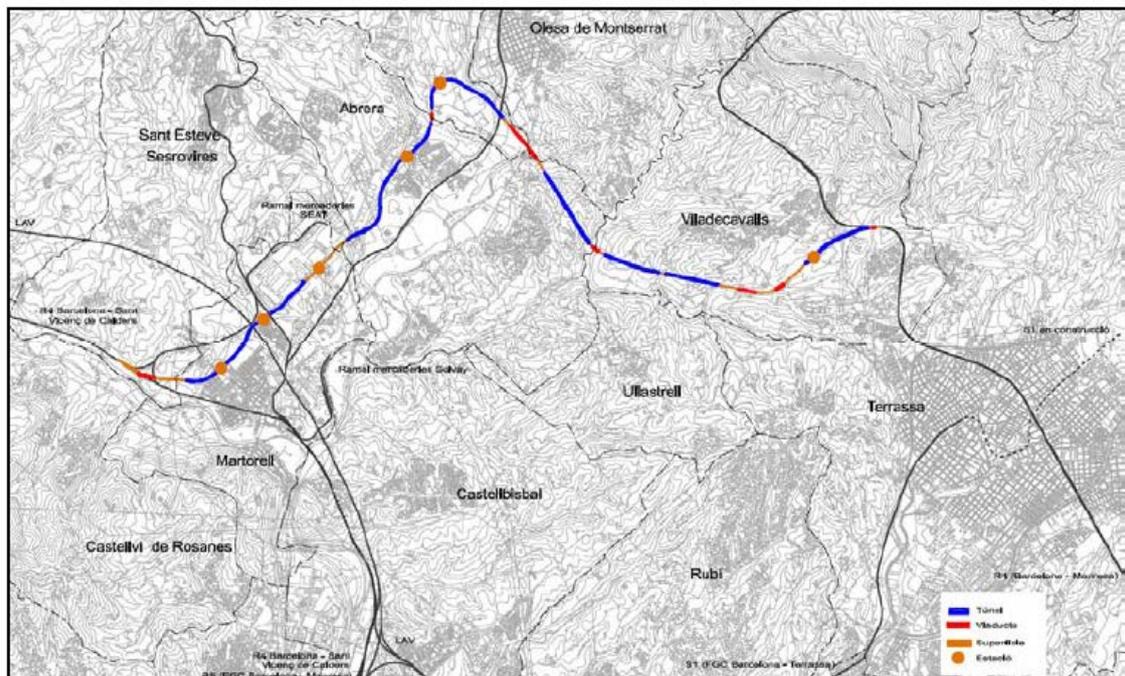


Figura 4.5. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 2 de la LOF, desde Martorell hasta Viladecavalls. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

La actual R8 en cambio pasa por Martorell y baja hasta Castellbisbal y Rubí, siguiendo por Sant Cugat y Cerdanyola para finalmente enlazar con Mollet y Granollers.

4.2.3 Tramo 3. Sabadell - Granollers

El tramo discurriría entre la conexión con la R4 en Barberà del Vallès y la conexión con R7 donde daría servicio a Barberà del Vallès y al polígono industrial de Santiga.

Posteriormente seguiría por la línea R7 hasta Santa Perpètua de Mogoda, donde se incorpora a la R3 para compartir con esta línea las estaciones de Mollet Santa Rosa, Parets del Vallès y la nueva estación de Montmeló. En este municipio se ha acercado el trazado de la AP-7 para reducir la afectación del nuevo trazado.

Finalmente la LOF cruzaría la AP-7 y se aproximaría a la línea R2 para circular paralela a ella hasta la estación de Granollers.

Inversión prevista en el 2008 según PDI de la RMB-ATM 2008-2015 para el tramo: 483,5 M€ La Figura 4.6 muestra el trazado en este tramo.

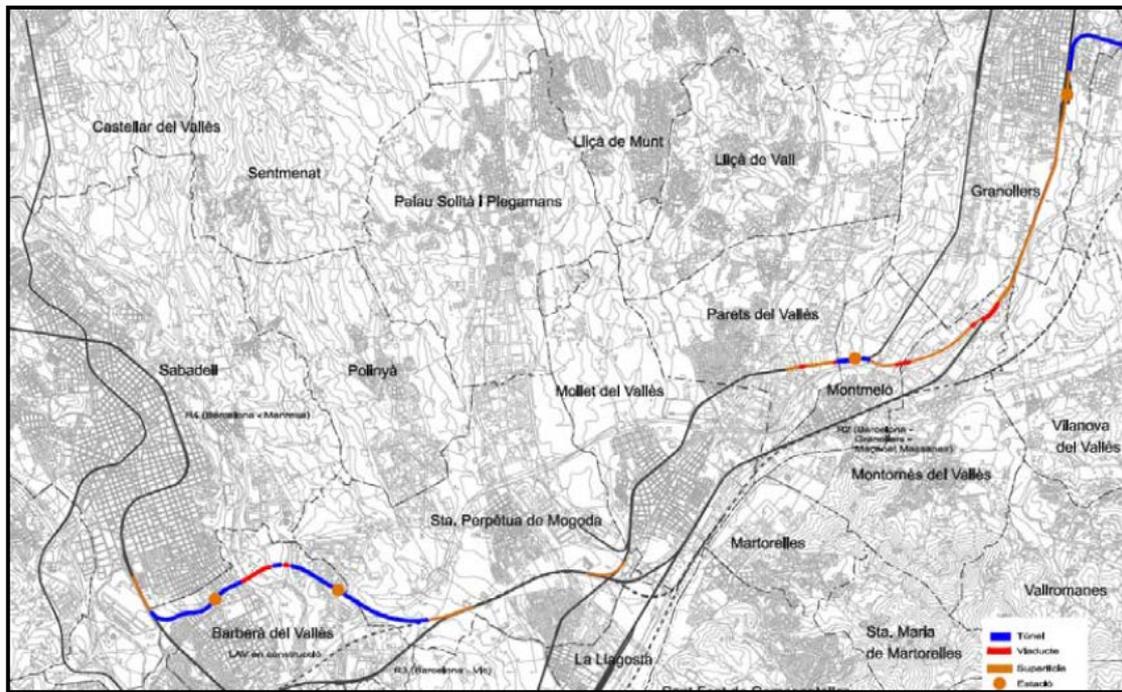


Figura 4.6. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 3 de la LOF, en Barberà del Vallès primero y luego desde Montmeló hasta Granollers. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

4.2.4 Tramo 4. Granollers - Mataró

En su tramo final, la línea atravesaría el núcleo urbano de Granollers bajo túnel y permitiría dar servicio a las nuevas áreas de crecimiento al sur de Les Franqueses del Vallès.

Seguidamente el trazado se dirigiría hacia la costa a través de la Roca del Vallès, y luego se desplazaría al este para evitar la afectación de una zona residencial.

Posteriormente la línea alcanzaría Argentona, donde se modificó el trazado en el norte del municipio con la finalidad de aumentar su integración y reducir las afectaciones a edificaciones existentes.

Finalmente llegaría a Mataró, conectándose con la R1. Con la última modificación del trazado se ha respetado al máximo la zona agrícola de las cinco casas de campo con cultivos y se ha desplazado la ubicación prevista de la estación Mataró Est (Rocafonda) para acercarla al núcleo urbano, situándola debajo de la carretera de la Mata, al oeste de la Ronda Cervantes.

Inversión prevista en el 2008 según el PDI de la RMB-ATM 2008-2015 para el tramo: 939,5 M€ La Figura 4.7 muestra el trazado en este tramo.

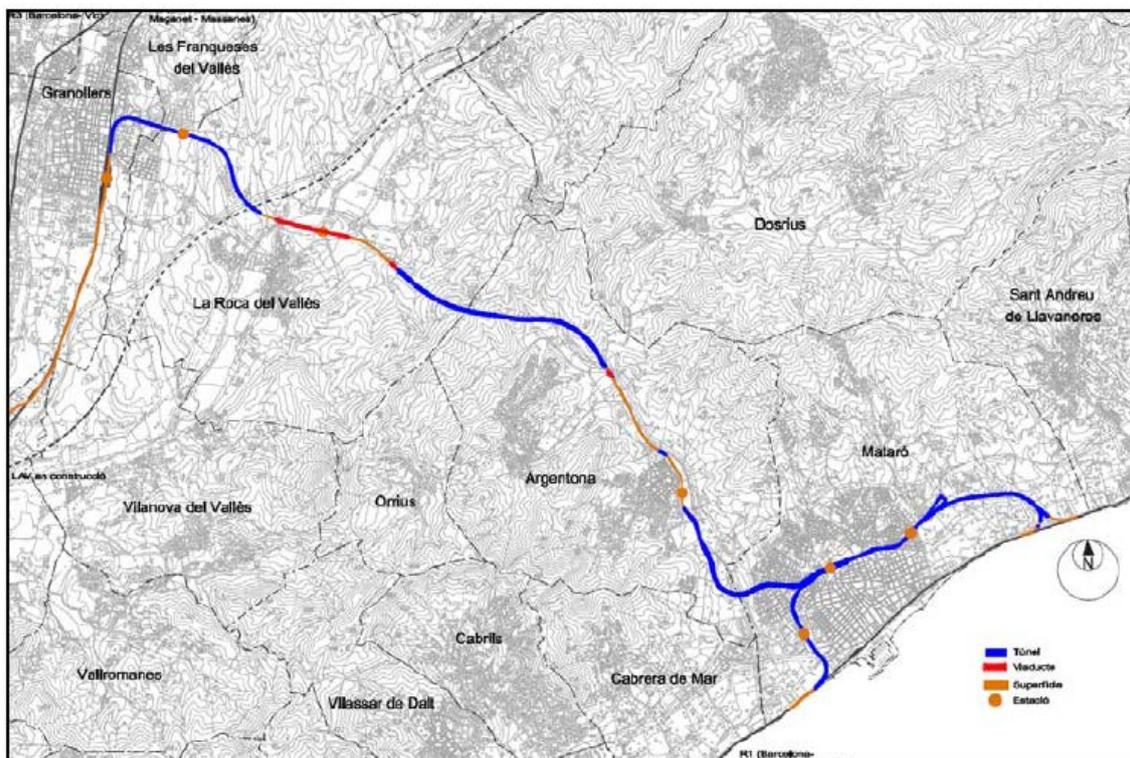


Figura 4.7. Tramos de nueva construcción dentro del tramo 4 de la LOF, desde Granollers hasta Mataró. En azul, vía en túnel; en rojo, vía en viaducto; en naranja, vía en superficie; los puntos naranjas representan estaciones. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

Inversión prevista en el 2009 según PDI de la RMB-ATM 2009-2018 para la variante: 233,4 M€ La Figura 4.8 muestra el trazado de esta variante.

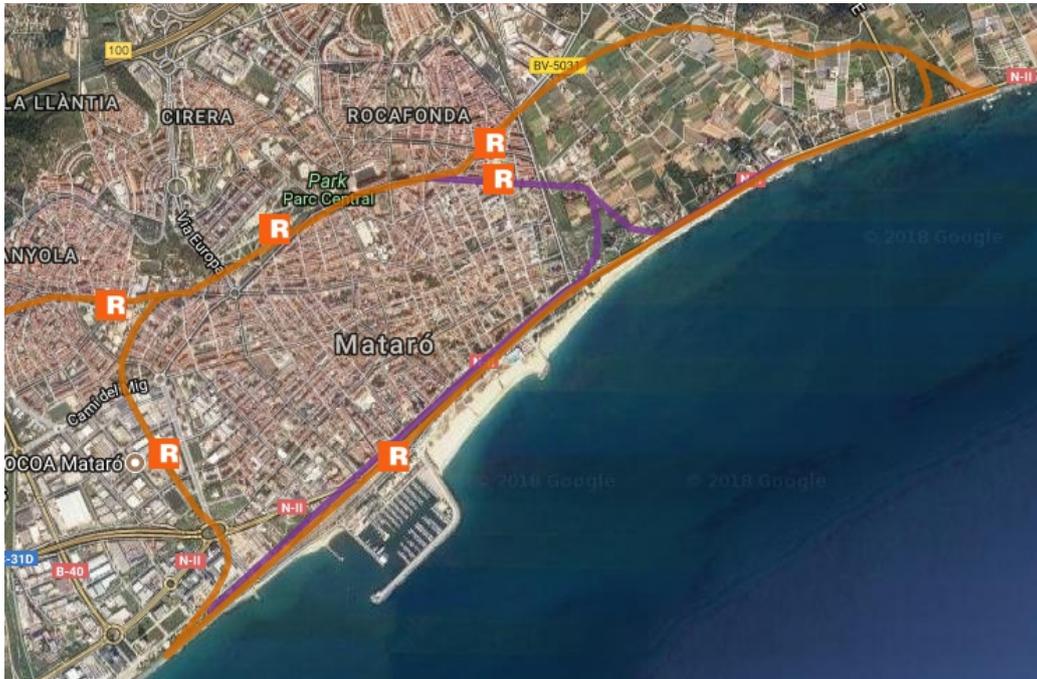


Figura 4.8. Reubicación de la parada Mataró Est (en violeta) respecto al trazado original del PDU de la LOF (en naranja). Fuente: (MyMaps-Google, 2018)

4.3 Análisis de los datos más relevantes de la LOF

4.3.1 Habitantes en los municipios servidos por la LOF

Las localidades servidas por la LOF y su número de habitantes están íntimamente ligados a la demanda que repercutirá sobre la línea.

Algunas localidades que quedan fuera de la LOF son Barcelona (1.620.809 habitantes) l'Hospitalet de Llobregat (254.804 habitantes) y Badalona (215.634 habitantes). En total suman 2.091.247 habitantes. Este trío de ciudades juntas suponen una población que más que duplica la de todos los núcleos servidos por la LOF.

No solo eso, además Barcelona es el lugar de trabajo o estudio de muchos habitantes de la periferia, que deben realizar desplazamientos de movilidad obligada de forma radial. La Tabla 4.2 recoge el número de habitantes de cada uno de los núcleos por los que pasaría la LOF.

Tabla 4.2. Municipios por los que pasa la LOF y número de habitantes. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018)

Municipio	Habitantes	Municipio	Habitantes
Vilanova i la Geltrú	65.972	Sitges	28.478
Sant Pere de Ribes	29.842	Canyelles	4.407
Vilafranca del Penedès	39.532	La Granada	2.091
Subirats	2.997	Sant Sadurní d'Anoia	12.654
Gelida	7.238	Martorell	27.645
Abrera	12.216	Esparraguera	21.766
Viladecavalls	7.354	Terrassa	215.121
Sabadell	208.246	Barberà del Vallès	32.832
Santa Perpètua de Mogoda	25.556	Mollet del Vallès	51.491
Parets del Vallès	18.837	Montmeló	8.748
Granollers	60.695	La Roca del Vallès	10.599
Argentona	12.051	Mataró	125.517
TOTAL			1.008.965

Los resultados de la tabla anterior se pueden analizar mejor con los municipios ordenados según el número de habitantes en la Figura 4.9:

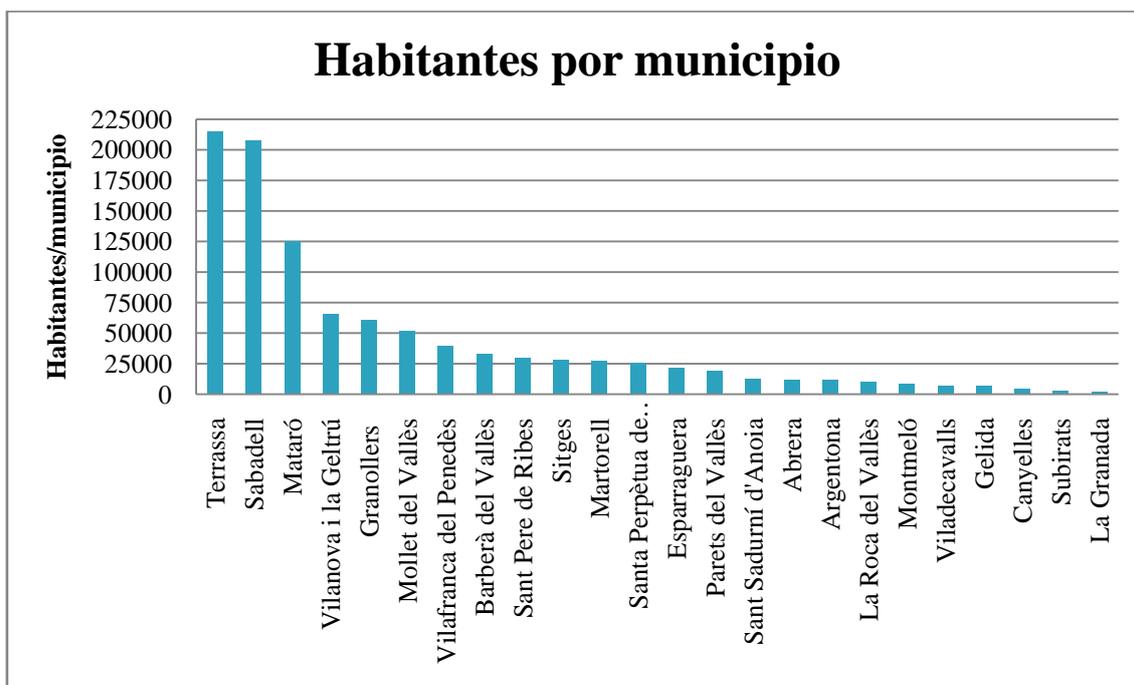


Figura 4.9. Habitantes de cada uno de los municipios por los que pasa la LOF. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2018)

De la Figura 4.9 se desprende la gran variabilidad en cuanto a número de habitantes que presentan los municipios por los cuales discurre la LOF. Estos datos van íntimamente ligados con la demanda de cada municipio, de modo que uno se puede preguntar si todos los municipios deben contar con el mismo servicio (intervalos de paso de los trenes, capacidad de los coches...) o no, con el objetivo de optimizar los costes de explotación de la línea. Hay que recordar que Sabadell y Terrassa ya están conectados por la R4 actualmente.

4.3.2 Orografía a lo largo de la línea

Un total de 42 km (el 35%) de la LOF corresponden a tramos de vía existente, mientras que 78 km (el 65%) son de nueva construcción. De estos 78 km, aproximadamente 50 km son en túnel, 25 km en terraplén y 3 km en viaducto. Gran parte se debe hacer el túnel ya sea porque el recorrido es montañoso (como en el tramo entre Vilanova i la Geltrú y Vilafranca del Penedés) o porque entra en núcleos urbanos, aumentando sustancialmente el coste respecto al trazado en terraplén.

Las inversiones estimadas en 2008 para el Pla Director d'Infraestructures de la RMB-ATM 2008-2015 se muestran en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3. Inversiones estimadas en 2008 para el PDI de la RMB-ATM 2008-2015. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

Tramo	Inversión prevista para el PDI de la RMB-ATM 2008-2015
Vilanova i la Geltrú - Vilafranca del Penedès	1.103,4 M€
Martorell - Terrassa	873,3 M€
Sabadell - Granollers	483,5 M€
Granollers - Mataró	939,5 M€ + 233,4M€*
Total	3.633,1 M€

*Se estimó una inversión de 233,4 M€ para la variante de Mataró en 2009 en un avance del PDI 2009-2018.

Así pues, se tiene una inversión superior a los 3.600 M€ para una línea que se estima que transportará 38.000 viajeros/día una vez ejecutada y 96.000 viajeros/día en 2026. Sin embargo, la línea con más tráfico de Rodalies actualmente es la R2 con 122.572 viajeros/día laborable, que conecta el tramo de litoral entre Sant Vicenç de Calders hasta Barcelona y de Barcelona hasta Granollers y Maçanet-Massanes por el interior, y que pasa por núcleos de población sustancialmente mayores que los que conecta la LOF. Además, esta línea presenta una conexión con el Aeropuerto del Prat (Terminal 2).

El Pla de Rodalies 2008-2015 estimó sin embargo esta inversión en 4.000 M€ a cargo del Ministerio de Fomento.

5 Costes esperados de la Línea Orbital Ferroviaria

Tras haber analizado los datos más relevantes de la LOF se puede proceder a realizar un estudio cuantitativo más detallado, con el objetivo de ver el impacto de esta infraestructura en los tiempos de viaje entre los núcleos de población cubiertos.

Para llevar a cabo este estudio se aplicarán las expresiones publicadas por Daganzo en 2010 en *Public Transportation Systems: Basic Principles of Systems Design Operations Planning and Real-Time Control*. En el capítulo 3 de la misma publicación se trata el análisis de transporte mediante un corredor, con las variables espacio tiempo representadas por distancia entre paradas e intervalo de paso, respectivamente.

Esta formulación permite evaluar y minimizar los costes del operador y los costes de los viajeros, ambos expresados en unidades de tiempo (horas).

Con el objetivo de ver cuál sería el impacto de la LOF respecto a la situación actual, se han calculado los costes para la LOF y para un servicio de buses. De este modo se puede cuantificar el impacto de la inversión de 3.600 M€

5.1 Hipótesis y datos preliminares

Dado que en la LOF las paradas están fijadas por el PDU de la LOF, se elimina la variable espacio. Además se supondrá que las paradas están distribuidas uniformemente, con un espacio entre paradas s . Debido a las bifurcaciones de Sitges-Vilanova en el sur y de Mataró en el norte, el cálculo se hará por 35 estaciones, repartidas a lo largo de la longitud de la línea $L = 120 \text{ km}$. La expresión del espacio entre paradas es

$$s = \frac{L}{\# \text{ paradas}} = \frac{120 \text{ km}}{35 \text{ paradas}} = 3,4 \text{ km/parada}$$

y la expresión general de la velocidad comercial de los trenes se define

$$v = \frac{L}{\frac{L}{v_{m\acute{a}x}} + \frac{L}{s} t_s}$$

siendo t_s tiempo perdido por aceleración - desaceleración del tren para pararse en la estación y para que los viajeros suban y bajen del tren. Dado que el espacio entre paradas es fijo, se puede obviar esta expresión y tomar la velocidad comercial directamente como un dato, que para los trenes de Rodalies es $v_t = 60 \text{ km/h}$, mientras que para los autobuses interurbanos se ha estimado en $v_b = 45 \text{ km/h}$ tras analizar los tiempos de recorrido y las distancias de las líneas de bus Vilafranca - Vilanova y Mataró - Granollers, con paradas similares a las previstas para la LOF.

La carga de viajeros o demanda λ se ha obtenido del *Estudio Justificativo del Plan Director Urbanístico para la concreción y delimitación de la reserva de suelo de la Línea Orbital Ferroviaria*. Dentro de este estudio se incluye un Estudio de la Demanda realizado por Mcrit y dirigido por Ifercat, en el que se estima una carga media de 12.500 viajeros/día en ambos sentidos para el año 2026. En la Figura 5.1 se observa con mayor detalle las cargas por tramos.

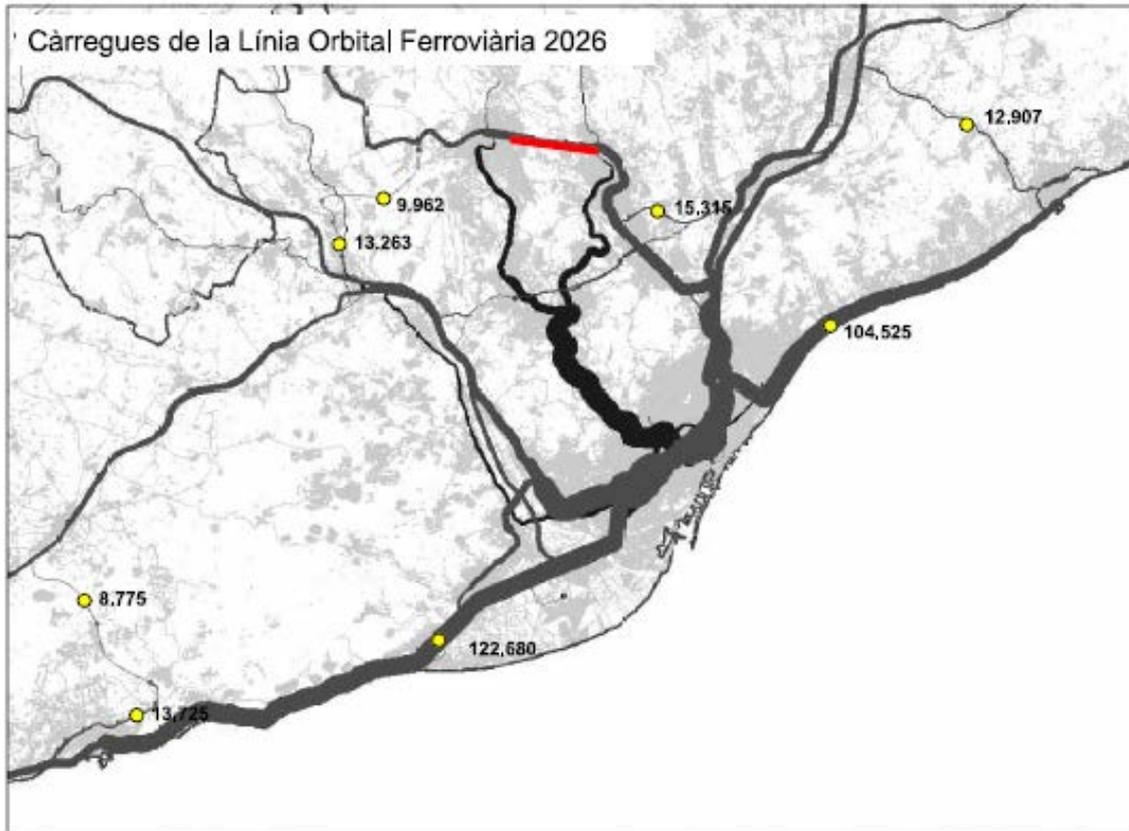


Figura 5.1. Mapa de cargas ferroviarias diarias en ambos sentidos. Fuente: (MCrit-Ifercat, 2008)

Para contextualizar las magnitudes del estudio, se apuntó que la carga de los tramos de línea de la costa entre Gavá y Castelldefels y entre Badalona y Montgat llevan 122.680 usuarios/día y 104.525 usuarios/día en ambos sentidos, respectivamente. Esto supone un orden de magnitud superior a los tramos de la LOF. Además, las cargas de la línea de la costa cubren mucho menor recorrido que la LOF en su totalidad.

A partir de estos datos se desprende una carga media para la totalidad de la LOF

$$\lambda = 1.700 \frac{\text{viajeros}}{\text{hora punta}} .$$

5.1.1 Datos de entrada para el coste del operador

Los datos para el cálculo del coste del operador se han obtenido de la base de datos del Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT), que es la metodología de referencia a utilizar cuando se deba evaluar la rentabilidad de las actuaciones impulsadas por la Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre (DGIMT), actualizada por última vez en mayo de 2016, mostradas en la Tabla 5.1 y Tabla 5.2.

Tabla 5.1. Costes del operador para la LOF. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016)

Variable o expresión	Descripción de la variable	Valor
$Z_o = \pi_S + \pi_V + \pi_M + \pi_L + \pi_E$	<i>Coste del operador para LOF (h)</i>	-
λ	Demanda en hora punta (pax/h)	1.700
μ	Valor del tiempo (€/h)	12
$\$S$	Coste estructural del operador (€/h)	87
$\pi_S = \frac{\$S}{\mu\lambda}$	Coste social según costes estructurales del operador (h)	0,004
$\$V$	Coste unitario por distancia recorrida (€/veh·km)	1,44
$V = v \cdot M$	Distancia que cubre la flota cada hora (veh·km/h)	-
$\pi_V = \frac{\$V V}{\mu\lambda}$	Costes sociales según distancia cubierta por la flota (h)	-
$\$M_1$	Coste de compra de un tren (25 años vida útil) (€/veh·h)	27,5
$\$M_2$	Coste unitario por mantenimiento del vehículo (€/veh·h)	1,05
$M = \frac{2L}{vH}$	Tamaño de la flota (veh·h/h)	-
$\pi_M = \frac{\sum \$M_i M}{\mu\lambda}$	Coste social según tamaño de flota (h)	-
$\$L$	Coste unitario por mantenimiento de infraestructura (€/km·h)	8,8
L	Longitud de la línea (km)	120
$\pi_L = \frac{\$L L}{\mu\lambda}$	Coste social según mantenimiento de la infraestructura (h)	0,044
$\$E$	Coste unitario por mantenimiento de estación (€/estación·h)	11,4
E	Número de estaciones (solo las nuevas para la LOF)	23
$\pi_E = \frac{\$E E}{\mu\lambda}$	Coste social según el mantenimiento de las estaciones (h)	0,011

Tabla 5.2. Costes del operador para el bus. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H .
Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016)

Variable o expresión	Descripción de la variable	Valor
$Z_o = \pi_S + \pi_V + \pi_M + \pi_E$	<i>Coste del operador para bus (h)</i>	-
λ	Demanda en hora punta (pax/h)	1.700
μ	Valor del tiempo (€h)	12
$\$S$	Coste estructural del operador (€h)	14
$\pi_S = \frac{\$S}{\mu\lambda}$	Coste social según costes estructurales del operador (h)	0,001
$\$V_1$	Coste unitario por distancia recorrida (combustible) (€veh·km)	0,76
$\$V_2$	Coste unitario por distancia recorrida (mantenimiento) (€veh·km)	0,13
$\$V_3$	Coste unitario por distancia recorrida (impuesto del carbono) (€veh·km)	0,09
$V = v \cdot M$	Distancia que cubre la flota cada hora (veh·km/h)	-
$\pi_V = \frac{\sum \$V_i V}{\mu\lambda}$	Costes sociales según distancia cubierta por la flota (h)	-
$\$M_1$	Coste de compra de un bus (10 años vida útil) (€veh·h)	2,51
$\$M_2$	Coste unitario por uso de infraestructura (impuesto) (€veh·h)	0,04
$\$M_3$	Coste unitario por seguros (€veh·h)	0,56
$\$M_4$	Coste unitario por gastos overhead (€veh·h)	1,65
$M = \frac{2L}{vH}$	Tamaño de la flota (veh·h/h)	-
$\pi_M = \frac{\sum \$M_i M}{\mu\lambda}$	Coste social según tamaño de flota (h)	-
$\$E$	Coste unitario por mantenimiento de estación (€estación·h)	
E	Número de estaciones que necesitan mantenimiento cuantificable	10
$\pi_E = \frac{\$E E}{\mu\lambda}$	Coste social según el mantenimiento de las estaciones (h)	0,006

5.1.2 Datos de entrada para el coste del usuario

Se estima el tiempo medio de acceso desde origen hasta la estación A_o en 0.15 h. El tiempo medio de acceso desde estación hasta destino A_d también se estima en 0.15 h. Se estima como tiempo de espera la mitad del intervalo de paso, es decir $W = 0,5H$. Los datos de entrada para el coste del usuario se recogen en la Tabla 5.3 y Tabla 5.4.

Tabla 5.3. Costes del usuario para la LOF. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016)

Variable o expresión	Descripción de la variable	Valor
$Z_u = A_o + W + T + A_d$	<i>Coste del usuario para LOF (h)</i>	-
A_o	Tiempo medio de acceso desde origen a estación (h)	0,15
$W = \frac{1}{2}H$	Tiempo medio de espera (h)	-
$T = \frac{1}{2} \frac{L}{v}$	Tiempo medio de viaje en el tren (h)	1
v	Velocidad del tren (km/h)	60
A_d	Tiempo medio de acceso desde estación a destino (h)	0,15

Tabla 5.4. Costes del usuario para el bus. Las casillas (-) indican que el valor varía con el intervalo H . Fuente: (Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, 2016)

Variable o expresión	Descripción de la variable	Valor
$Z_u = A_o + W + T + A_d$	<i>Coste del usuario para bus (h)</i>	-
A_o	Tiempo medio de acceso desde origen a estación (h)	0,15
$W = \frac{1}{2}H$	Tiempo medio de espera (h)	-
$T = \frac{1}{2} \frac{L}{v}$	Tiempo medio de viaje en el bus (h)	1
v	Velocidad del tren (km/h)	45
A_d	Tiempo medio de acceso desde estación a destino (h)	0,15

5.1.3 Datos de entrada para el coste de inversión

La Administración debe hacer frente a una inversión estimada en 3.600 M€ según el PDU de la LOF. Para convertir las unidades monetarias en tiempo se ha dividido la inversión por la vida útil de la LOF, estimada en 50 años, por la demanda y por el valor del tiempo. Para el servicio de buses no se ha tenido en cuenta el valor de la inversión ya que se aprovecha la infraestructura existente. Los datos se recogen en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Resumen de costes de la administración (inversión) para la LOF. Fuente: (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2010)

Variable o expresión	Descripción de la variable	Valor
$Z_a = \frac{I}{\text{vida util} \cdot \lambda \cdot \mu}$	Coste de la administración para LOF (h)	0,342
I	Coste de inversión (M€)	3.600
vida util	Vida útil de la infraestructura (años)	50
λ	Demanda en hora punta (pax/h)	1.700
μ	Valor del tiempo (€h)	12

5.2 Resultados

Para intervalos bajos los costes de operador son elevados y los del usuario son bajos, mientras que para intervalos elevados sucede lo contrario. Los costes de inversión son constantes, no dependiendo del intervalo de paso. Existe un intervalo de paso óptimo que minimiza los costes globales. La Figura 5.2 y la Figura 5.3 muestran los costes totales del servicio en tren y bus en función del intervalo de paso.

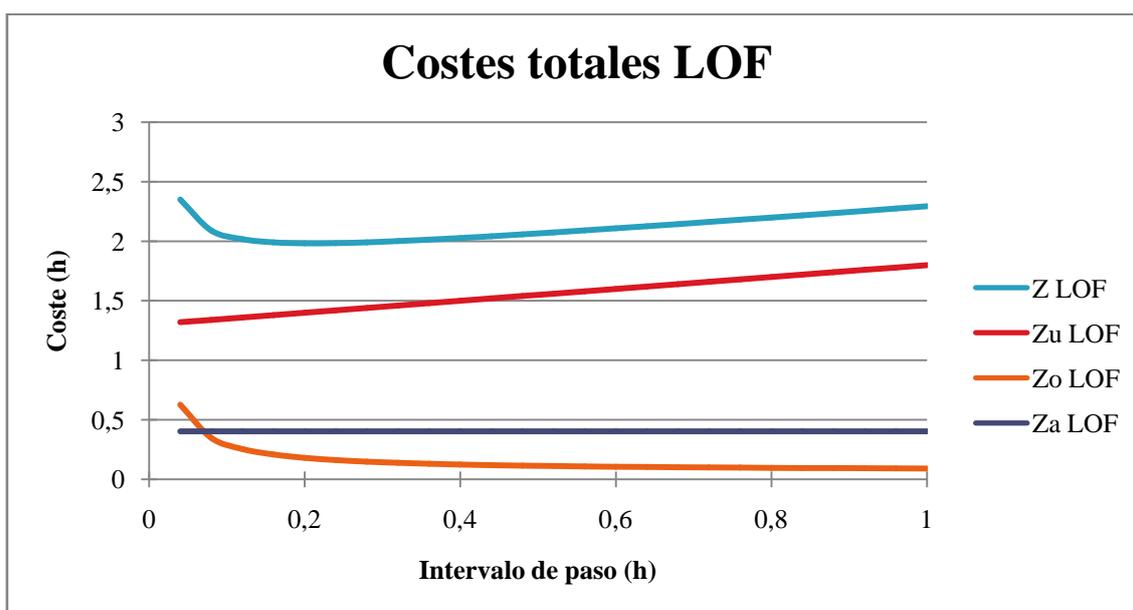


Figura 5.2. Costes totales de la LOF en función del intervalo de paso

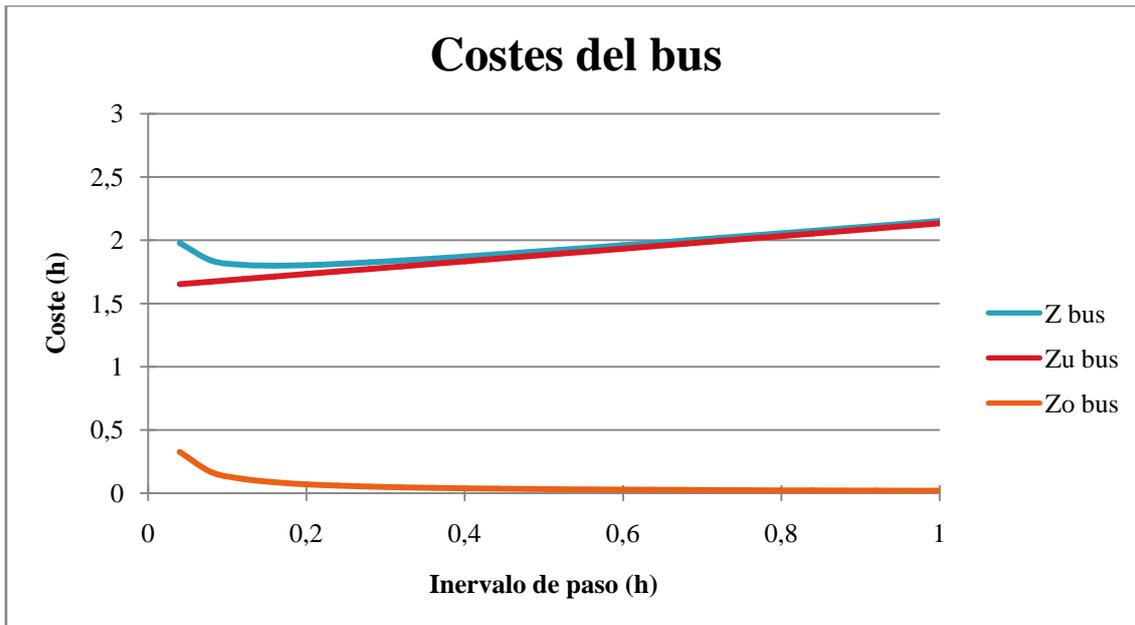


Figura 5.3. Costes totales del bus en función del intervalo de paso

A partir de estos resultados se obtiene el intervalo de paso que minimiza los costes globales, tal y como muestra la Tabla 5.6:

Tabla 5.6. Costes mínimos totales asociados al intervalo de paso óptimo que minimiza lo costes globales.

Medio de transporte	Intervalo de paso óptimo	Coste mínimo
Línea Orbital Ferroviaria	$H^* = 0,2 h = 12 \text{ min}$	$Z^* = 1,98 h$
Servicio de autobuses	$H^* = 0,16 h = 9,6 \text{ min}$	$Z^* = 1,80 h$

Se obtiene un tamaño de flota de 34 buses y la demanda quedaría cubierta con buses de 50 plazas. Para el ferrocarril no se tienen problemas de capacidad con esta demanda.

Con la demanda tan baja que se tiene en hora punta, y tomando como referencia que los trenes de la R8 tienen un intervalo de paso de 1h, se propondría un intervalo de paso de un tren cada 30 minutos como mínimo, pudiendo llegar incluso a un tren cada 60 minutos, tal y como muestra la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Costes totales de la LOF para un intervalo de paso de un tren cada 30 ó 60 minutos

Medio de transporte	Intervalo de paso	Coste
Línea Orbital Ferroviaria	$H = 0,5 h = 30 \text{ min}$	$Z = 2,06 h$
Línea Orbital Ferroviaria	$H = 1 h = 60 \text{ min}$	$Z = 2,29 h$

Actualmente el bus e13, responsabilidad de ATM y Sagalés, recorre las ciudades de Sabadell - Mataró - Granollers con un intervalo de paso de 30 minutos en hora punta. Cabe decir que este bus no hace paradas en núcleos poblacionales intermedios, aunque tiene distintas paradas dentro de cada ciudad. Estos buses tienen una velocidad comercial de 40 km/h.

En el tramo Vilanova - Vilafranca existe un bus de la empresa Plana que realiza el recorrido Vilanova - Canyelles - Olèrdola - Vilafranca (para en un núcleo urbano más que la LOF) con intervalos de paso variables, combinando buses semidirectos con buses que atraviesan muchos más núcleos poblacionales. Los buses semidirectos tienen una velocidad comercial de 48 km/h.

5.3 Análisis de sensibilidad de la demanda

Las pronosis en la demanda pueden variar según la evolución de la población en los años venideros. Con el objetivo de controlar la variabilidad de estos resultados se propone este análisis de sensibilidad.

Para este análisis de sensibilidad se ha fijado el intervalo de paso de un tren cada 30 minutos para la LOF y de un bus cada 9,6 minutos (óptimo), y se ha obtenido la variación de los costes con la variación de la demanda. Se podrían haber escogido otros intervalos para este análisis, ya que se ha comprobado que la diferencia entre ellos es prácticamente despreciable.

Los costes de operador y administración son los que más varían cuando varía la demanda, pero dado que el coste de usuario no depende de la demanda y su peso es mayor que los otros costes, el coste total varía alrededor de un 5% y de un 1% para una variación de demanda del 20% en la LOF y en el bus, respectivamente. Estas variaciones quedan reflejadas en la Figura 5.4 y la Figura 5.5.

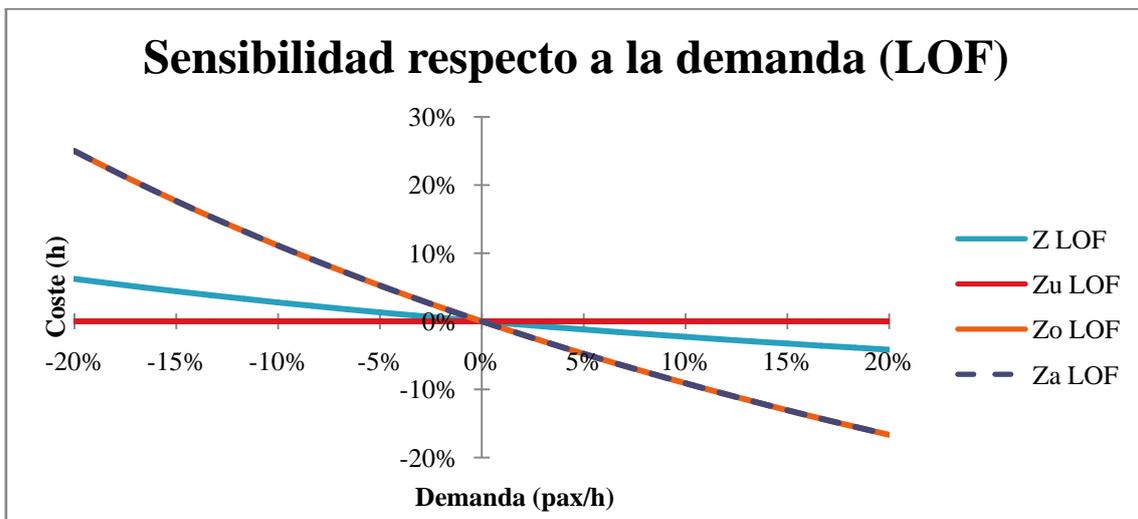


Figura 5.4. Sensibilidad del coste respecto a la demanda para la LOF

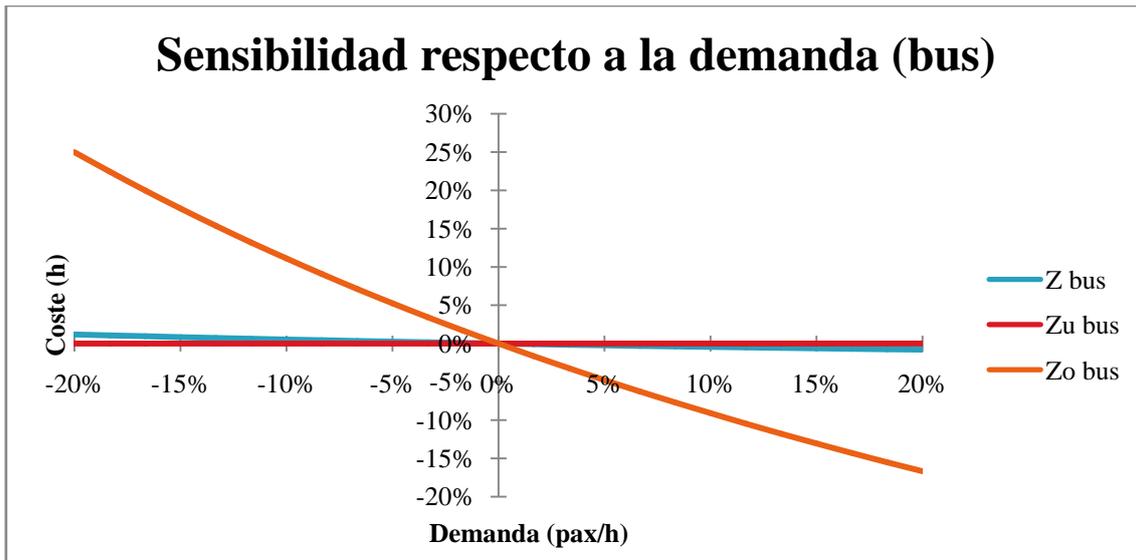


Figura 5.5. Sensibilidad del coste respecto a la demanda para el bus

Así pues, queda comprobado que el coste de la LOF es mayor que el del bus para la prognosis de cara al año 2026. Los costes entre LOF y bus se exponen en la Tabla 5.8 y Tabla 5.9.

Tabla 5.8. Incremento de coste de la LOF sobre el bus para un intervalo de paso de trenes de 30 minutos

Medio de transporte	Intervalo de paso retenido	Coste	Coste de la LOF sobre el bus
Línea Orbital Ferroviaria	$H^* = 0,5 h = 30 min$	$Z^* = 2,06 h$	14%
Servicio de autobuses	$H^* = 0,16 h = 9,6 min$	$Z^* = 1,80 h$	

Tabla 5.9. Incremento de coste de la LOF sobre el bus para un intervalo de paso de trenes de 60 minutos

Medio de transporte	Intervalo de paso retenido	Coste	Coste de la LOF sobre el bus
Línea Orbital Ferroviaria	$H^* = 1 h = 60 min$	$Z^* = 2,29 h$	27%
Servicio de autobuses	$H^* = 0,16 h = 9,6 min$	$Z^* = 1,80 h$	

Viendo estos resultados, desde el punto de vista técnico no se aconseja destinar 3.600 M€ a ejecutar la LOF. Sin embargo, existen otras actuaciones de mayor necesidad en la red de Rodalies de Barcelona.

6 Actuaciones de mayor necesidad en la red de Rodalies

Tras el análisis del sistema ferroviario de cercanías de otras ciudades y los cálculos comparativos de coste entre la LOF y el servicio de buses se desprende que la Línea Orbital Ferroviaria carece de sentido en estos momentos, principalmente por la escasa demanda de los núcleos de la periferia de Barcelona.

Sin embargo, esto no significa que la red de Rodalies esté optimizada. Existen otras medidas que podrían mejorar sustancialmente la capacidad y la calidad de la red, sobre todo en las conexiones radiales Barcelona - periferia.

6.1 Implantación de ERTMS + ATO en señalización ferroviaria

6.1.1 Descripción del sistema ERTMS

El Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario, más conocido por sus siglas ERTMS (European Rail Traffic Management System), es una iniciativa de la Unión Europea que pretende garantizar la interoperabilidad de las redes ferroviarias, creando un único estándar. Además de esto, pretende introducir un conjunto de mejoras para optimizar la capacidad, seguridad y fiabilidad de los trenes en todo el territorio europeo. Actualmente Rodalies está equipada con el sistema ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático), que simplemente detiene el tren si el conductor no respeta las señales.

La interoperabilidad del transporte ferroviario es actualmente compleja en Europa, principalmente por la existencia de:

- 4 anchos de vía principales distintos.
- 5 sistemas de electrificación distintos.
- 20 sistemas de señalización y control de tráfico distintos.

ERTMS debe contribuir a resolver el último aspecto logrando un sistema común de gestión de tráfico con señalización en cabina. Los objetivos principales de ERTMS son:

- Optimizar la interoperabilidad del material rodante, definiendo un estándar técnico de señalización y seguridad que haga posible circular entre los distintos países de Europa.
- Aumentar la capacidad de las líneas reduciendo el intervalo entre trenes.
- Aumentar los niveles de seguridad.
- Reducir los costes al disminuir las instalaciones fijas.
- Reducir los costes al pasar de sistemas propietarios a otro abierto y competitivo para tratar de contrarrestar mercados cautivos por países y/o compañías.

El ERTMS se divide en dos capas:

- El Sistema Europeo de Control de Trenes (ETCS, European Train Control System) se encarga del control y la seguridad del tráfico, es decir: del bloqueo. Es un sistema de control que permite evitar que un tren supere las velocidades máximas establecidas o las señales que indican parada, resultando ser un sistema mejorado sobre los sistemas de alarma automáticos ya instalados en muchos países europeos.
- La Capa Europea de Gestión del Tráfico (ETML, European Traffic Management Layer) se encarga de la gestión y regularidad del tráfico en los Centros de Regulación y Control (CRC), lugar desde donde se dirige el tráfico. A su vez integra otros subsistemas, como son la planificación de capacidad (creación de las marchas) y el entorno operativo (regulación de la circulación, enrutamiento automático de trenes, y entorno: comunicaciones, telemandos y detectores). En España existe el ETML DaVinci, que permite seguir el ciclo de vida completo del negocio ferroviario, desde la planificación, la creación de un tren en el entorno de operación, su regulación y seguimiento automático y la monitorización con desviaciones y predicciones.

Dentro del sistema ECTS existen distintos niveles:

- El nivel 1 (implementado por primera vez en Suiza en 2002 y en España en 2006) permite, entre otras cosas, circular a unos 300 km/h con un intervalo de paso de trenes de entre 5 y 6 minutos. Se basa en circuitos de vía y ordena mediante eurobalizas (Figura 6.1) y requiere señalización lateral y bloqueo fijo.
- El nivel 2 (implementado por primera vez en Suiza en 2006 y en España en 2011) permite, entre otras cosas, circular hasta a 350 km/h con un intervalo de paso de trenes de entre 2 y 3 minutos. Requiere circuito de vía y balizas con bloqueo fijo, aunque no necesita señalización lateral.
- El nivel 3 no se basa en bloqueo fijo sino en la situación del tren en cada instante mediante GPS/GLONASS/Galileo, dotando de mayor capacidad a la línea. Aún así, existe el inconveniente de que se desconocería si se ha producido una rotura del carril por no existir circuitos de vía. Actualmente está en período de pruebas y planes piloto, aún en temprano desarrollo.



Figura 6.1. Baliza ERTMS. Fuente: (ADIF, 2017)

6.1.2 Descripción del sistema ATO

El modo de conducción ferroviaria Operación Automática del Tren (ATO, Automatic Train Operation) permite gobernar al tren de forma automática, sin la intervención del conductor. El ATO es un modo de conducción y no un sistema de seguridad, por lo que el ATO es siempre supervisado por otros sistemas, como el ATP (Protección Automática de Trenes, o Automatic Train Protection en inglés), que aplica el freno de emergencia o impide otras acciones cuando no se cumplen algunas condiciones de seguridad.

El modo ATO se utiliza principalmente en redes de metro o ferrocarril suburbano. Mientras está activado regula la velocidad, aceleración o frenado del ferrocarril. Aún así, es necesaria la supervisión de un conductor para abrir y cerrar puertas, dar orden de salida al ATO y supervisar la seguridad de todo el sistema. El modo ATO permite intervalos de paso de trenes de entre 2 y 3 minutos a velocidades de hasta 80 kilómetros por hora.

Está presente en todas las líneas del Metro de Barcelona salvo la L4. Además, las nuevas líneas L9, L10 y L11 disponen de un sistema ATC de Siemens que permite la circulación de trenes sin conductor o personal a bordo, como muestra la Figura 6.2.



Figura 6.2. Cabeza del tren circulando por la L9 del Metro de Barcelona, en ausencia de conductor. Fuente: (Trenscat, 2017)

En 2016 se adjudicó la instalación del sistema ERTMS nivel 2 en la R1 y el mantenimiento a 20 años al consorcio Alstom-Bombardier por 73M€

6.2 Soterramiento de vías en l'Hospitalet de Llobregat

El estado actual de saturación y la configuración de los túneles ferroviarios urbanos de Passeig de Gràcia y de Plaça Catalunya imposibilita establecer la conexión de las líneas costa a costa (Vilanova-Mataró) e interior a interior (Vilafranca-Granollers). El Plan de infraestructuras ferroviarias de Cercanías de Barcelona 2008-2015 del Ministerio de Fomento pretende introducir un modelo de explotación del servicio de Cercanías siguiendo un esquema "costa-costa" e "interior-interior" con el objetivo de evitar cizallamientos entre líneas y sacarle el máximo provecho a los dos túneles existentes, adecuando la oferta de cada corredor a su demanda.

Con el soterramiento de un tramo de vía de la línea R2 en L'Hospitalet de Llobregat se permitiría el cruce, mediante un salto de carnero, entre la línea de costa R2 (hacia Vilanova) y la línea del interior R4 (hacia Vilafranca). Este salto de líneas corresponde a una bifurcación a diferentes niveles que eliminaría el cizallamiento entre vías y que permitiría permutar el destino de las vías de las dos líneas de Cercanías que salen de la estación de Sants hacia el sur. De esta manera, las vías del lado montaña, que actualmente van hacia L'Hospitalet, irían hacia Bellvitge, y las vías del lado mar, que ahora se dirigen a Bellvitge, irían hacia L'Hospitalet, tal y como muestra el esquema en la Figura 6.3.

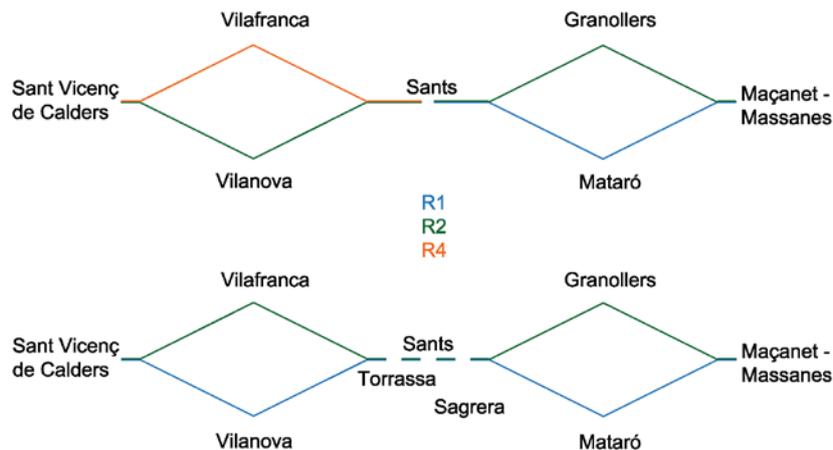


Figura 6.3. Esquema de la configuración actual (arriba) y de la configuración prevista (abajo) con la introducción del salto de carnero y los intercambiadores de Torrassa y Sagrera. Fuente: (Elaboración propia)

Con este nuevo cruce de líneas tras la ejecución del nuevo túnel de la línea R2 en L'Hospitalet se puede reconfigurar la red de Cercanías, permitiendo establecer la conexión de las líneas costa norte - costa sur (Vilanova-Mataró) e interior norte - interior sur (Vilafranca-Granollers). Esta actuación resulta necesaria para implantar el nuevo modelo de explotación de Rodalies, que iría ligado a un incremento de la eficiencia de la red adecuando mejor la oferta y la demanda de los corredores afectados.

El coste de esta actuación es de 608M€ y se llevaría a cabo entre 2020 y 2026.

6.3 Implementación de los intercambiadores de La Torrassa y Sagrera-Meridiana

Con el objetivo de mejorar la integración del sistema de transportes, se plantean dos nuevos intercambiadores: en La Torrassa, al sur de Barcelona, y en Sagrera-Meridiana, zona norte de Barcelona.

El intercambiador de La Torrassa permitiría realizar intercambios entre las líneas de cercanías R2 y R4 y las líneas de metro L1 y L9/L10. Estas dos líneas de metro no son accesibles desde Sants, con lo que supone un intercambiador alternativo de gran valor.

Gracias a esta intervención y al soterramiento con salto de carnero explicado previamente se podrían implementar desarrollos urbanísticos en la zona que permitan resolver la actual fractura que supone el paso de las vías férreas en superficie, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

El intercambiador de Sagrera-Meridiana se situaría en la actual estación de Alta Velocidad de Sagrera, entre las estaciones de Rodalies de Clot y Sant Andreu Arenal. Además, el intercambiador posibilitaría la integración urbana de las dos líneas ferroviarias en L'Hospitalet, la línea R2 en una primera fase ya explicada, y el futuro soterramiento de la línea R4 en una fase posterior. La Figura 6.4 muestra en verde los dos nuevos intercambiadores y el intercambiador existente de Sants.



Figura 6.4. Detalle de la red de Metro de Barcelona. En verde, los intercambiadores de Torrassa (previsto), Sagrera (previsto) y Sants (existente). Fuente: (Elaboración propia a partir de TMB, 2018)

6.4 Anulación de la Estació de França

La Estació de França, tal y como muestra la Figura 6.5, presenta el problema de ser una estación en *cul de sac*, por lo que limita las prestaciones del servicio ferroviario. En estos momentos la estación cuenta con un tráfico considerable en cuanto a desplazamientos de Media Distancia.



Figura 6.5. Un tren Civia de Rodalies llega a la terminal Estació de França. Fuente: (Trenscat, 2009)

En cuanto al servicio de Rodalies, en estos momentos la estación actúa como terminal de la línea R2 Sud, que llega hasta Sant Vicenç de Calders pasando por la costa, como muestra la Figura 6.6. En caso que se llevaran a cabo las actuaciones de salto de carnero en La Torrassa, sería necesario eliminar Estació de França de la línea de la costa para así enlazar Sant Vicenç de Calders - Vilanova - Barcelona - Mataró - Maçanet.



Figura 6.6. Termómetro de la R2, donde aparece el desvío de la R2 Sud hacia Estació de França, estación terminal de la línea. Fuente: (Trenscat, 2017)

Actualmente el túnel de Passeig de Gràcia desvía 5 de cada 20 trenes cada hora hacia Estació de França. Esto limita aún más la capacidad del túnel, que ya está saturado por el gran número de líneas y trenes que pasan por el mismo.

6.5 Ramal en doble vía al Aeropuerto

Tal y como muestra la Figura 6.6 en la página 56, actualmente existe una conexión por Rodalies hasta el Aeroport del Prat. El intervalo de paso de los trenes es de 30 minutos, sin distinciones de horas punta u horas valle, con un tiempo de recorrido de 30 minutos hasta Passeig de Gràcia.

La línea R2 Nord solo llega a la Terminal 2. Para llegar a la Terminal 1 (inaugurada en 2009) los viajeros deben tomar un bus lanzadera que completa el recorrido desde la T2 hasta la T1 en 10 minutos, con una frecuencia de paso de entre 4 y 20 minutos según la franja horaria. Este intercambio modal supone un inconveniente para los viajeros que deseen llegar a la T1, especialmente si van cargados con maletas.

La Línea 9 del Metro de Barcelona no pasa por el centro de la ciudad (ni por Sants, ni por Passeig de Gràcia, ni por Plaça Catalunya). Sí pasa por Torrassa, pero el intercambiador con Rodalies aún no está ejecutado. También pasa por Sagrera, pero dado que la L9 se comporta actualmente como dos líneas independientes por no estar conectada en su parte central, se puede obviar esta conexión ya que se requeriría un intercambio a otra línea. Desde Torrassa, el tiempo de recorrido hasta el Aeroport (tanto Terminal 1 como Terminal 2) es de 46 y 37 minutos, respectivamente.

Vistos los tiempos de viaje ofrecidos por la L9 y sus conexiones con otros modos de transporte, resultaría fundamental mejorar la frecuencia de paso de la línea R2 Nord y hacerla llegar hasta la T1. Esta actuación pasaría por pasar de vía única a vía doble en el ramal de la R2 Nord hasta el Aeroport. Se podría implementar un servicio de trenes con un intervalo de paso de hasta 6 minutos y se debería tener en cuenta el estacionamiento de trenes en la Terminal 1 si la estación actúa como terminal de la línea.

El ramal conectaría Sants con la T1 en 20 minutos, pasando previamente por la T2. Se estima que la actuación beneficiaría a entre 7 y 9 millones de pasajeros anualmente. Se llevaría a cabo un tramo de 4,5 km entre la salida del túnel de la estación de El Prat y la T1, pasando por debajo de la pista de vuelo aeroportuaria. El túnel tendría una longitud de 3,3 km, 2,8 km de los cuales se realizarían mediante tuneladora.

El presupuesto de esta actuación rondaría los 280 M€

6.6 Impacto global de las actuaciones en la red de Rodalies

Actualmente en Barcelona existen dos túneles que permiten el paso de líneas de Rodalies y Media y Larga Distancia: el túnel de Passeig de Gràcia y el túnel de Plaça Catalunya. Estos túneles se encuentran al límite de su capacidad, aunque este fenómeno se debe principalmente a la no adecuada configuración de las líneas y del sistema de señalización ferroviaria. Por el túnel de Passeig de Gràcia pasan 15 trenes/hora y por el túnel de Plaça Catalunya pasan 20 trenes/hora.

Con la sustitución del sistema ASFA por el sistema ERTMS + ATO, junto con la reconfiguración de las líneas gracias a las otras actuaciones vistas, se conseguiría un intervalo de paso de trenes de entre 2 y 3 minutos, aumentando la capacidad de los túneles tanto de Passeig de Gràcia como de Plaça Catalunya hasta 27 trenes/hora.

Con el soterramiento de las vías en l'Hospitalet de Llobregat y el salto de carnero entre las actuales R1 y R2 se conseguiría una mejor distribución de la oferta de las líneas, segregándolas en costa norte - costa sur e interior norte - interior sur. Además, los vecinos de l'Hospitalet de Llobregat ganarían un nuevo espacio en su ciudad, actualmente ocupado por las vías férreas.

Con la implementación de los intercambiadores en La Torrassa y en Sagrera-Meridiana se distribuiría mejor la carga de pasajeros que soporta actualmente Sants, ya que cubriría la zona sur y norte de la ciudad, respectivamente. Además permitiría el intercambio con líneas de metro que no pasan por Sants, como es el caso de L1 y L9 en Torrassa y de L1, L5, L9 y L10 en Sagrera-Meridiana.

La actuación del salto de carnero en l'Hospitalet de Llobregat no tendría sentido si la actual R2 acabase en Estació de França. Para que la línea cubra la costa de norte a sur es necesario suprimir el paso por esta estación terminal. Además, se optimizaría el túnel de Passeig de Gràcia porque no se debería desviar ningún tren hacia Estació de França.

Con el ramal en doble vía al Aeropuerto de El Prat y la prolongación de la línea hasta la Terminal 1 se conseguiría conectar Sants con las terminales T1 y T2 del Aeroport en 20 minutos de recorrido. Además, se podrían implementar intervalos de paso de un tren cada 6 minutos.

Estas medidas supondrían un impacto muy beneficioso para el conjunto de la red de Rodalies de Barcelona, y tienen un coste de inversión sustancialmente menor que la LOF, la cual ya se ha demostrado en este estudio que no resulta aconsejable ejecutar desde el punto de vista técnico.

7 Conclusiones

Tras haber desarrollado este trabajo se pueden extraer una serie de conclusiones:

1. Las líneas orbitales de metro están presentes en algunas ciudades del mundo. Estas líneas tienen alrededor de 40 km de longitud y conectan barrios o zonas de especial interés dentro de la ciudad. Sólo en Tokio, con una demanda excepcionalmente alta existe, además de una línea orbital de metro, una orbital a nivel cercanías, la cual tiene 120 km de longitud y conecta núcleos poblacionales de la periferia. Son características parecidas a las de la LOF en Barcelona, aunque la línea tokiota tiene una demanda de 30.000 pasajeros/hora punta, mientras que la demanda estimada en 2026 para la LOF es de 12.500 pasajeros/día.
2. La inversión en infraestructura de la LOF es de 3.600 M€según el PDI de la RMB-ATM. Con esta inversión se completarían los tramos de línea necesarios para unir municipios de la segunda corona con el sistema de Rodalies. Sin embargo, la escasa demanda prevista para la línea da lugar a plantearse un sistema alternativo de transporte entre aquellos núcleos que no están conectados por Rodalies, como un servicio de autobuses interurbanos.
3. Tras cuantificar, por un lado, los costes del usuario, los costes operacionales y los costes de inversión en infraestructura que supondría la LOF y, por otro lado, los costes del usuario y los costes operacionales del servicio de buses, se ha comprobado que los costes globales de la LOF serían entre un 14% y un 27% superiores al del servicio de buses para un intervalo de paso de trenes de 30 minutos y 60 minutos, respectivamente. Además, el análisis de sensibilidad de la demanda muestra que para una variación del 20% de la demanda, los costes globales de la LOF y del servicio de buses varían un 5% y un 1%, respectivamente.
4. Sin embargo, la red de Rodalies necesita con más urgencia otras actuaciones, especialmente en la ciudad de Barcelona, donde los dos túneles que cruzan la ciudad están al límite de su capacidad: la implantación del sistema ERTMS + ATO en señalización ferroviaria, el salto de carnero en l'Hospitalet de Llobregat, los nuevos intercambiadores de la Torrassa y Sagrera, la anulación del servicio de Estació de França y el ramal en doble vía hacia el Aeropuerto son algunas de las actuaciones que mejorarían sustancialmente la calidad del servicio ofertado, y lo harían con un coste de inversión mucho menor que el de la LOF.

8 Referencias

ADIF. 2017. Adif. ERTMS, Sistema Europeo de Gestión de Tráfico. [En línea] 2017. http://www.adif.es/es_ES/ocio_y_cultura/fichas_informativas/ficha_informativa_00026.shtml.

—. **2018.** Nuevos Planes de Actuación en Cercanías. [En línea] 2018. http://www.adif.es/es_ES/infraestructuras/planes_infraestructura/planes_infraestructura.shtml.

Anuari Territorial de Catalunya. 2010. Societat Catalana d'Ordenació del Territori. Ferrocarril Orbital de Vilanova i la Geltrú a Mataró. [En línea] 2010. http://territori.scot.cat/cat/notices/2010/06/ferrocarril_orbital_vilanova_i_la_geltrU_mat arO_2644.php.

Así funciona el ERTMS, Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario. **Revista Vía Libre. 2013.** 2013.

ATM. 2008. *Pla Director d'Infraestructures de la Regió Metropolitana de Barcelona - Autoritat del Transport Metropolità 2008-2015.* 2008.

—. **2002.** *Plan Director de Infraestructuras de transporte público colectivo 2001-2010 (PDI) de la Regió Metropolitana de Barcelona.* 2002.

Chomenko, Boris. 2007. Railway-Networks, Trainspotting Bükkes. [En línea] 2007.

Daganzo, Carlos F. 2010. *Public Transportation Systems: Basic Principles of Systems Design Operations Planning and Real-Time Control.* Berkeley: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2010. ISBN-10: 9813224088.

Dalmau, Antonio R. 1946. *Del carril de Mataró al directo de Madrid.* s.l. : Milà, 1946.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques. 2010. *Pla Director Urbanístic de la Línia Orbital Ferroviaria.* 2010. Plan Director.

Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre. 2016. Sistema d'Avaluació d'Inversions en Transport (SAIT). [En línea] Mayo de 2016. http://territori.gencat.cat/ca/03_infraestructures_i_mobilitat/carreteres/SAIT/.

Dirección General de Ferrocarriles. Ministerio de Fomento. 2009. *Plan de infraestructuras ferroviarias de cercanías de Barcelona 2008-2015.* 2009.

Empresa Plana. 2018. Empresa Plana. Descarga de horarios y rutas. [En línea] 2018. <http://www.empresaplana.cat/descargas>.

ERTMS. 2013. ERTMS Signaling levels. [En línea] 2013. <http://www.ertms.net/ertms-signalling-levels>.

Exprés.cat. 2018. Bus Exprés.cat e13. [En línea] 2018. http://territori.gencat.cat/web/.content/home/03_infraestructures_i_mobilitat/02_transport_public/expres_cat/fullets_informatius/barcelona/Fullet_e13_Mataro-Granollers-Sabadell_201700222.pdf.

Generalitat de Catalunya. 2018. Mou-te amb transport públic per Catalunya. Accessibilitat i opcions de viatge. [En línea] 2018. <https://mou-te.gencat.cat/portada-moute.html#/ca/portada>.

Hibino, Nahoki. 2005. *A study on evaluation of level of railway services in Tokyo metropolitan area based on railway network assignment analysis.* 2005.

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2018. Instituto Nacional de Estadística (INE). Demografía y Población. Barcelona: Población por municipios y sexo. [En línea] 1 de Enero de 2018. <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2861&L=0>.

Julià Sort, Jordi. 2006. *Redes Metropolitanas. Metropolitan Networks.* Barcelona : Editorial Gustavo Gili, 2006. ISBN: 9788425219931.

Lizcano Núñez, Benedicto. 2011. *Planteamiento y definición de un nuevo diseño en la explotación de los servicios de cercanías de Barcelona. Actuaciones necesarias, fases de implantación y resultados esperados tras su puesta en servicio.* ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Barcelona : UPC, 2011. Tesis doctoral.

López Pita, Andrés. 2008. *Explotación de Líneas de Ferrocarril.* s.l. : Edicions UPC, 2008. ISBN: 9788483019566.

—. 2006. *Infraestructuras Ferroviarias.* s.l. : Edicions UPC, Temas de Transporte y Territorio nº12, 2006. ISBN: 84-8301-853-5.

Martín, Félix. 2017. *El Futur de Rodalies.* 2017. Presentación en Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

MCrit-Ifercat. 2008. *Estudio Justificativo del Plan Director Urbanístico para la concreción y delimitación de la reserva de suelo de la Línea Orbital Ferroviaria.* 2008.

Ministerio de Fomento. 2000. *Plan de Infraestructuras de Transporte.* 2000.

—. **2005.** *Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte.* 2005.

Ministerio de Obras Públicas. 1987. *Plan del Transporte Ferroviario.* 1987.

—. **1994.** *Plan Director de Infraestructuras.* 1994.

Muñoz Rubio, Miguel. 2016. *RENFE, 75 años de historia (1941-2016).* s.l. : Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2016. ISBN: 978-84-946555-1-7.

2018. MyMaps-Google. [En línea] 2018. https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1SWz8MawVAdHukNOeutQGUiuwzXI&hl=en_US&ll=41.21814214975605%2C2.007967158203087&z=11.

RATP. 2018. RATP maps. Metro. [En línea] 2018. <https://www.ratp.fr/en/plans-lignes/plan-metro>.

—. **2018.** RATP maps. RER et transiliens. [En línea] 2018. <https://www.ratp.fr/en/plans-lignes/plan-rer-et-transiliens>.

Renfe Cercanías. 2017. Renfe Cercanías. Plano de Cercanías Madrid. [En línea] 2017. <http://www.renfe.com/viajeros/cercanias/planos/madrid.html>.

Renfe. 2018. Renfe Rodalies. Horaris. [En línea] 2018. <http://rodalies.gencat.cat/es/horaris/>.

RENFE. 2008. *Renfe: origen y destino de una imagen. Un trayecto por la geografía visual de nuestros ferrocarriles.* s.l. : RENFE, 2008.

Röll, Victor von. 1912. *Enzyklopädie des Eisenbahnwesens.* 1912.

TMB. 2018. TMB. Mapa metro Barcelona. [En línea] 2018. <https://www.tmb.cat/es/transporte-barcelona/mapa/metro>.

Tokyometro. 2018. Tokyometro. Subway map. [En línea] 2018. <https://www.tokyometro.jp/en/subwaymap/>.

2018. Transit Map Berlin 1910-1936. [En línea] 2018. <http://transitmap.net/post/21791473257/berlin-1910-1936>.

Transports Metropolitans de Barcelona (TMB). 2018. TMB Xarxa de Transport. [En línea] 2018. <https://www.tmb.cat/ca/home/>.

Transports Públics de Catalunya. 2015. *Enquesta de mobilitat en dia feiner (EMEF) 2015.* 2015.

Trenscat. 2017. Trenscat. El projecte global de la L9. [En línea] 2017. http://www.trenscat.com/tmb/metrol9_ct.html.

—. **2009.** Trenscat. Estació de França. [En línea] 2009. http://www.trenscat.com/renfe/estaciodefranca_ct.html.

—. **2017.** Trenscat. R2 Rodalies. [En línea] 2017. http://www.trenscat.com/renfe/r2_ct.html.

—. **2017.** Trenscat. R8. [En línea] 2017. http://www.trenscat.com/renfe/r8_ct.html.

Wikimedia. 2017. Wikimedia Commons. [En línea] 2017. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Rodalies_barcelona_2013.svg.