

ANEXOS

ANEXO A. SERVICIO FERROVIARIO ACTUAL.

Rodalies

Por un lado, así como se evidencia en el Plan de Rodalies de Catalunya 2020-2030, la red de Rodalies cubre un total de 166 municipios, atendiendo de esta manera a una población de 5.392.854, suponiendo un grado de cobertura del 70,9%. No obstante, la población atendida es mayoritariamente de la provincia de Barcelona (83,5%), constatando así la estructura radial de la red ferroviaria en Catalunya, donde la capital del territorio está dotada de una mayor conectividad en contraposición a las demás capitales de provincia de la comunidad (*Ilustración 1*).

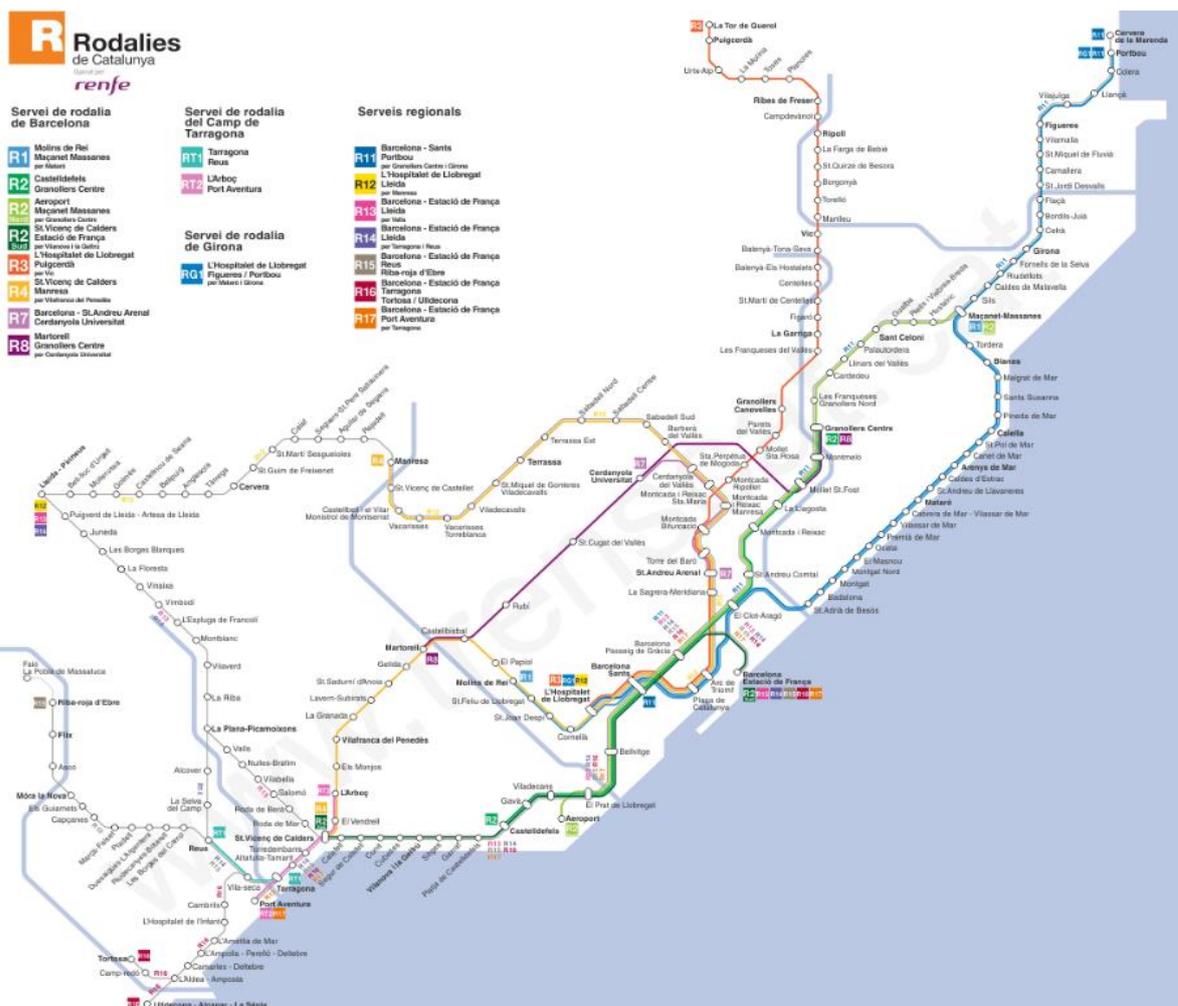
En lo referente a las características técnicas de la infraestructura ferroviaria del Rodalies, actualmente se cuenta con una longitud de 1.119,61 km de vías, con 200 estaciones. La totalidad de la red está electrificada a 3kV en corriente continua. Sin embargo, el ancho ibérico está presente en el 94,6% de las vías del territorio catalán, en contraposición al mixto, que únicamente abastece al 5,4%. Por consiguiente, esto supone una lacra para la conectividad con las redes internacionales, ya que se requiere de un cambio de ancho de vía. Cabe destacar que, en España, el ancho de vía es de 1668 mm, en cambio, en el resto de Europa son de 1435mm (López, 2006).

Con el objetivo de optimizar la seguridad ferroviaria, la red de Rodalies de Catalunya está dotada de instalaciones como los sistemas de bloqueo que cubren la longitud total de líneas de tren, gestionando el tráfico y la circulación de trenes. Por lo que concierne al material rodante, la red de Rodalies de Catalunya gestiona 271 trenes de una media de 20,2 años (Adif, Renfe y Gobierno de España, 2020).

El servicio de Rodalies de Catalunya cuenta con 18 líneas de tren que se extienden por toda la comunidad (Generalitat de Catalunya, 2022):

- ✓ Línia R1: Molins de Rei - Maçanet-Massanes
- ✓ Línia R2: Castelldefels - Granollers Centre
- ✓ Línia R2N: Aeroport - Maçanet-Massanes
- ✓ Línia R2S: Barcelona Estació de França - Sant Vicenç de Calders
- ✓ Línia R3: L'Hospitalet de Llobregat - Puigcerdà

- ✓ Línia R4: Sant Vicenç de Calders - Manresa
- ✓ Línia R7: Barcelona Sant Andreu Arenal - Cerdanyola Universitat
- ✓ Línia R8: Martorell - Granollers Centre
- ✓ Línia R11: Barcelona Sants - Portbou
- ✓ Línia R12: L'Hospitalet de Llobregat - Lleida
- ✓ Línia R13: Barcelona Estació de França - Lleida
- ✓ Línia R14: Barcelona Estació de França - Lleida
- ✓ Línia R15: Barcelona Estació de França - Reus - Ribera-roja d'Ebre
- ✓ Línia R16: Barcelona Estació de França - Tarragona - Tortosa / Uldecona
- ✓ Línia R17: Barcelona Estació de França - Salou - Port Aventura
- ✓ Línia RG1: L'Hospitalet de Llobregat - Figueres / Portbou
- ✓ Línia RT1: Tarragona - Reus
- ✓ Línia RT2 : L'Arboç - Salou - Port Aventura



Il·lustración 1: Mapa de la red ferroviaria de Rodalies de Catalunya (Trenscat, 2021)

FGC

La empresa ferroviaria FGC, desde hace 40 años, se basa en la conectividad de Catalunya, gestionando servicios ferroviarios y servicios turísticos y de montaña. Desde la metrópoli de Barcelona con las líneas del Vallès, el Baix Llobregat, l’Anoia y el Bages hasta el Pirineo, con la línea de Lleida a la Poble, y las montañas de Montserrat y Núria con cremalleras (FGC, 2022).

A continuación, se muestran la *Ilustración 2* con el mapa ferroviario de las líneas de los ferrocarriles catalanes propiedad la Generalitat de Catalunya que opera FGC.

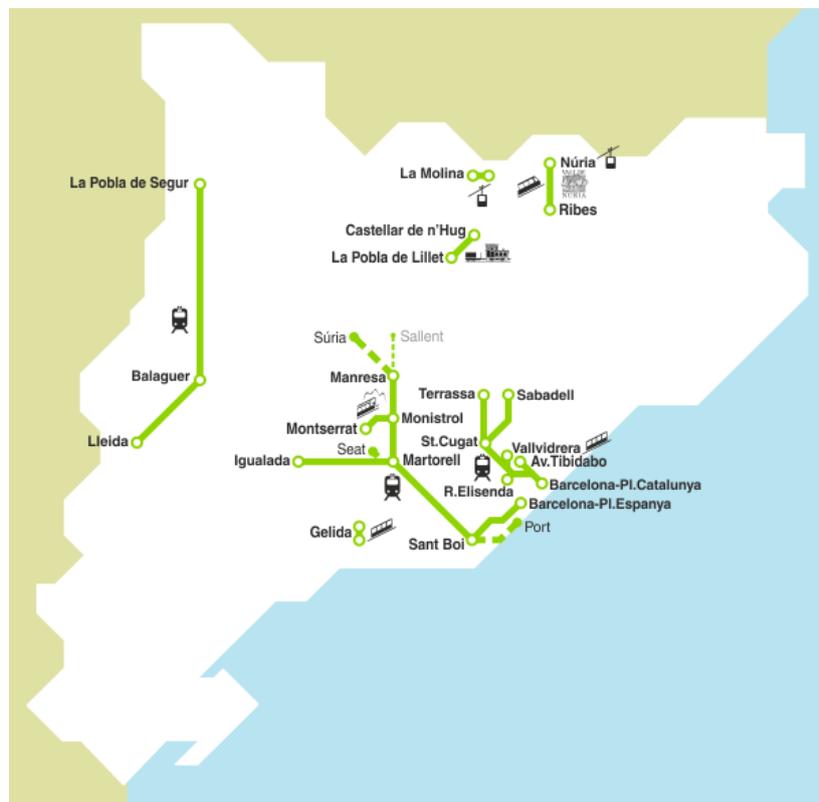


Ilustración 2: Mapa de la red FGC (Trenscat, 2021)

Metro

A continuación, se muestra el mapa del servicio de metro que ofrece la ciudad de Barcelona:



Ilustración 3: Mapa de la red de Metro de Barcelona (TMB, 2022)

Cabe mencionar que el 25% de la red de Metro de Barcelona funciona actualmente sin conductor; prueba de ello són las líneas L9 Sud y L10 Sud:

❖ L9 Sud

En lo referente a proyectos relativamente actuales y atendiendo a la problemática en cuanto a movilidad, la Generalitat de Cataluña elaboró el Plan de Infraestructuras de Transporte de Cataluña (PITC) con el objetivo de definir de forma integrada la red de infraestructuras viarias, ferroviarias y logísticas necesarias para el territorio catalán, con un horizonte temporal hasta 2026. En dicho plan, datado de 2006, se estipulan los propósitos de ampliar infraestructuras portuarias y aeroportuarias optimizando de esta manera el transporte en la comunidad.

Enfocando el objeto de análisis en la movilidad ciudadana, la Generalitat ha llevado a cabo una considerable inversión económica traducida en proyectos para optimizar y potenciar los medios de transporte públicos, sobre todo las líneas de metro. El 12 de febrero de 2016 se puso en marcha el servicio de la nueva línea 9 Sud de metro, la cual conectaba la Terminal 1 del Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat con la Zona Universitaria.

La infraestructura de la línea 9 Sud ha facilitado el acceso en transporte público al núcleo urbano y la conexión de zonas habitadas que no tenían centros educativos, áreas logísticas, zonas comerciales y de promoción económica como, por ejemplo, Mercabarna, Fira y las dos terminales del aeropuerto. Por lo tanto, con dicho proyecto de movilidad, el cual ha supuesto una inversión de 2,9 millones de euros aproximadamente, ha implicado la puesta en servicio del crecimiento más grande de red de metro en los últimos 50 años.

Por lo que concierne a los datos básicos de dicha red de metro, se trata de una infraestructura con 15 estaciones y 6 intercambiadores, enlazando de esta manera los municipios de Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat y el Prat de Llobregat, con una longitud de 20 km de distancia y 32 minutos de punta a punta en lo referente al tiempo de trayecto, con una velocidad media de 37km/h.

Una característica propia de la línea 9 Sud es la conectividad con otros medios de transporte u otras líneas de metro, entre los cuales destacan:

- ✓ Rodalies de Catalunya (El Prat Estación i Aeropuerto T2)
- ✓ FGC (Europa|Fira)
- ✓ Metro: L1 (Torrassa), L3 (Zona Universitaria) i L5 (Collblanc)
- ✓ Trambaix (Zona Universitaria)
- ✓ Conexiones con puntos estratégicos del área metropolitana de Barcelona como, por ejemplo: Fira, Zona Universitaria, Parc Logístic de la Zona Franca, Mercabarna, El Mas Blau del Prat

Además, esta infraestructura dota de servicio a nuevas zonas como: Can Trias|Gornal, Europa|Fira de l'Hospitalet de Llobregat, 5 estaciones al núcleo urbano del Prat de Llobregat. Destacando también el enlace con al borde del parque natural del Delta del Llobregat (*Ilustración 4*).



Ilustración 4: Línea 9 Sud (TMB, 2022)

❖ L10 Sud

El proyecto subsecuente al de la línea 9 Sud ha sido el de la línea 10 Sud, el cual estableció su servicio a partir del 8 de setiembre de 2018, inicialmente con cinco estaciones (Collblanc, Torrassa, Can Tries-Gornal, Foneria i Foc), permitiendo la conectividad y la accesibilidad al barrio de la Marina de Barcelona. A continuación, el 23 de noviembre de 2019 las estaciones de Provençana y Ciudad de la Justicia iniciaron su operatividad. Posteriormente, el 1 de febrero de 2020 la estación de Zona Franca fue operativa y; finalmente, en 2021 se inauguró el servicio de Port Comercial, La Factoria, Ecoparc i Zal | RiuVell.

Mediante el financiamiento de los Fondos europeos de desarrollo regional, la Generalitat de Catalunya ha permitido la construcción de esta infraestructura de metro dotada de 11 estaciones, con 4 intercambiadores, una longitud de 6 km y una velocidad comercial de 29 km/h. Con un presupuesto de aproximadamente 119 millones de euros, esta línea de metro permite enlaces con otras líneas de metro y ferrocarriles (*Ilustración 5*):

- ✓ Ciudad de la Justicia, enlace con L8 y FGC
- ✓ Can Tries | Gornal, enlace con L9
- ✓ Torrassa, enlace con L1 y L9
- ✓ Collblanc, enlace con L5 y L9

Cabe destacar que la línea conecta con puntos estratégicos del área metropolitana de Barcelona como, por ejemplo, Fira, Zona Universitaria, Parc Logístic de la Zona Franca, Zona d'Activitats Logístiques del Port de Barcelona (Generalitat de Catalunya, 2021).



Ilustración 5: Línea 10 Sud (Generalitat de Catalunya, 2021)

Tranvía

Por un lado, la red formada por las líneas T1, T2 y T3 posee un tramo común de 6 km y transcurre por los municipios de Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat, Sant Joan Despí, Sant Just Desvern y Sant Feliu de Llobregat. En concreto, la red cuenta con una longitud de 15,1 km y 29 paradas. Por otro lado, las líneas T4, T5 y T6 constituyen la red del Besòs. La T4 y la T6 enlazan Barcelona con Sant Adrià de Besòs y la T5 une Barcelona con Badalona. En definitiva, la longitud de esta red es de 14,1 km y tiene 27 paradas (TRAM, 2022).

A continuación, se muestra el mapa del servicio tranviario que ofrece la ciudad de Barcelona:

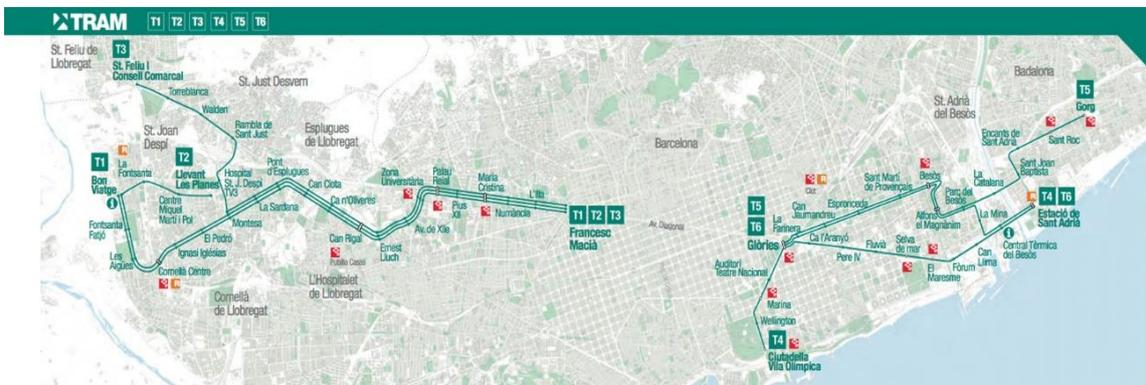


Ilustración 6: Mapa de la red de Tranvía de Barcelona (TRAM, 2022)

ANEXO B. TOMA DE DECISIONES: MÉTODO AHP

Interconexión aeroportuaria

La *Ilustración 7* muestra el resultado del método AHP para el subsistema “interconexión aeroportuaria” para proporcionar las cantidades porcentuales a cada criterio y, posteriormente, realizar la elección rigurosamente.

Método para elección de los pesos de los criterios									
Método AHP (Analytic Hierarchy Process)									
CRITERIOS:				Ratio	Importancia relativa entre dos criterios A y B	Consistencia del método			
C1	Adaptabilidad			1	A y B tienen la misma importancia	Número criterios (n)	Valor Ri		
C2	Coste del sistema			3	A se considera moderadamente más importante que B	3	0,52		
C3	Prestaciones			5	A es bastante más importante que B	4	0,89		
C4	Ahorro energético			7	A es mucho más importante que B	5	1,11		
C5	Equilibrio territorial			9	A es absolutamente más importante que B	6	1,25		
criterios (n)=		5				7	1,35		
Matriz de criterios relativos [C]						8	1,4		
	C1	C2	C3	C4	C5	9	1,45		
C1	1	3	1	3	3	10	1,49		
C2	0,33	1	0,33	1	1	11	1,51		
C3	1	3	1	3	3	12	1,54		
C4	0,333333	1	0,33333	1	1	13	1,56		
C5	0,33333	1	0,3333	1	1	14	1,57		
Suma	3	9	3	9	9	15	1,58		
						Consistencia de la matriz			
Matriz normalizada de criterios						Vector peso de los criterios [W]		Vector de consistencia	
	C1	C2	C3	C4	C5	[Ws]=[C]x[W]	[Cons]=[Ws]/[W]		
C1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,666666667 5,0000000		
C2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556 5,0000000		
C3	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,666666667 5,0000000		
C4	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556 5,0000000		
C5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556 5,0000000		
Suma	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	Consistencia media (c)		5,0000000	
						Índice de consistencia $Ci=(c-n)/(n-1)$		0	
						Ratio de consistencia $Cr=Ci/Ri$		0 < 0.1	
						Si $Cr < 0.1$, el método se considera válido			
						En caso contrario, hay que reajustar [C] y repetir el proceso			

Ilustración 7: Método AHP aplicado al subsistema “interconexión aeroportuaria”

Cercanías y regionales

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo del subsistema “cercanías y regionales” con cinco criterios, se ha llevado a cabo la repartición de los pesos porcentuales mediante el Método AHP (*Ilustración 8*).

Método para elección de los pesos de los criterios								
Método AHP (Analytic Hierarchy Process)								
CRITERIOS:				Ratio	Importancia relativa entre dos criterios A y B	Consistencia del método		
C1	Adaptabilidad			1	A y B tienen la misma importancia	Número criterios (n)	Valor Ri	
C2	Coste del sistema			3	A se considera moderadamente más importante que B	3	0,52	
C3	Prestaciones			5	A es bastante más importante que B	4	0,89	
C4	Accesibilidad			7	A es mucho más importante que B	5	1,11	
C5	Equilibrio territorial			9	A es absolutamente más importante que B	6	1,25	
criterios (n)=	5					7	1,35	
						8	1,4	
Matriz de criterios relativos [C]						9	1,45	
	C1	C2	C3	C4	C5	10	1,49	
C1	1	3	1	3	3	11	1,51	
C2	0,33	1	0,33	1	1	12	1,54	
C3	1	3	1	3	3	13	1,56	
C4	0,333333	1	0,333333	1	1	14	1,57	
C5	0,333333	1	0,333333	1	1	15	1,58	
Suma	3	9	3	9	9			
						Consistencia de la matriz		
Matriz normalizada de criterios						Vector peso de los criterios [W]	Vector de pesos	Vector de consistencia
	C1	C2	C3	C4	C5		[Ws]=[C]x[W]	[Cons]=[Ws]/[W]
C1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,666666667	5,000000000
C2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556	5,000000000
C3	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,666666667	5,000000000
C4	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556	5,000000000
C5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,555555556	5,000000000
Suma	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89			5,000000000
						Consistencia media (c)		5,000000000
						Índice de consistencia $Ci=(c-n)/(n-1)$		0
						Ratio de consistencia $Cr=Ci/Ri$		0 < 0.1
						Si $Cr < 0.1$, el método se considera válido		
						En caso contrario, hay que reajustar [C] y repetir el proceso		

Ilustración 9: Método AHP aplicado al subsistema “estaciones e intercambiadores”

Sistema de billeteaje *contactless* y gestión ferroviaria

En lo relativo a los criterios establecidos para el estudio de la solución y para la realización del análisis comparativo del subsistema “sistema de billeteaje *contactless* y gestión ferroviaria” con cinco criterios, se requiere de repartir de los pesos porcentuales mediante el Método AHP, cuyo resultado es el siguiente:

- ✓ Viladecans
- ✓ Cornellà (Llobregat Centre y Estación)
- ✓ Castelldefels
- ✓ Cervelló (Can Guitart y Granja García)
- ✓ Sant Just Desvern-Consell Comarcal
- ✓ El Papiol
- ✓ Sant Joan Despí

No obstante, este servicio resulta escaso tanto en capacidad como en cuantía para reducir aspectos como: el consumo energético, las retenciones, la siniestralidad; la contaminación atmosférica y la acústica en los núcleos urbanos. En este contexto, se evidencia la necesidad de escoger de forma efectiva las ubicaciones de dichos aparcamientos de intercambio.

❖ **Ubicación en el modelo**

La ausencia de aparcamientos disuasorios reduce el área de influencia de las estaciones, ya que no permite el acceso de viajeros que no disponen de buena conexión en transporte público con la estación mediante vehículo privado. Por lo tanto, en el presente proyecto se apuesta por el fomento de la implantación de aparcamientos disuasorios para zonas de acceso a medios ferroviarios en estaciones periféricas de la red y con baja conectividad, para potenciar así la integración de medios en el diseño.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, según datos de la AMB, la ocupación media de un turismo actualmente es de 1,11 pasajeros y una plaza de aparcamiento ocupa 12,5 m²; por consiguiente, un aparcamiento que quiera llenar un tren de 400 pasajeros, por ejemplo, requeriría de media hectárea de terreno aproximadamente. Por lo tanto, se deben priorizar zonas sin limitación territorial y ubicadas estratégicamente para evitar atascos y cerca de los núcleos urbanos de referencia.

En este sentido, la implantación de los Park&Ride del modelo postulado irá dirigida a las infraestructuras propuestas en el presente proyecto, ya que FGC y Rodalies ya han considerado la implantación de ellas en su área de influencia, como se explica en el estado de la técnica. Por lo tanto, se analizará la demanda potencial de aparcamiento en las siguientes propuestas susceptibles de la implantación de dicho servicio en la siguiente tabla:

Ubicaciones susceptibles de implementación del Park&Ride

<i>Ferrocarril pirenaico</i>	Este proyecto ferroviario requiere de la implementación del servicio <i>Park&Ride</i> para evitar las aglomeraciones características en las inmediaciones de las estaciones de esquí. En este contexto, se ha considerado la implantación de los aparcamientos de intercambio en Andorra la Vella , siendo la capital de un país que carece de cobertura ferroviaria y profundamente arraigado al uso del vehículo privado; y en Urtx-Alp , siendo el municipio donde se realiza el enlace con la R3 y se propone mejorar la oferta con la adicción de dicho servicio.
<i>TramGavarres</i>	Mediante la implementación de esta infraestructura tranviaria se prevé mejorar la demanda de la Costa Brava y la conexión con el Aeropuerto de Girona y las estaciones de AVE de Girona y Vilobí d'Onyar. Por lo tanto, se debe mejorar la oferta introduciendo el servicio <i>Park&Ride</i> en los municipios del Gironès y Baix Empordà periféricos ajenos a las retenciones características de la Costa Brava. En este contexto, se propone Vilobí d'Onyar, Flaçà y Llagostera , como municipios favorables por características territoriales y ubicación para la construcción de aparcamientos disuasorios.
<i>TramCamp</i>	Con la introducción de dicha propuesta tranviaria se prevé mejorar la demanda de la Costa Daurada y la conexión con el Aeropuerto de Reus y el futuro Corredor del Mediterráneo. Por lo tanto, se debe mejorar la oferta introduciendo este servicio de intermodalidad en los municipios periféricos que carezcan de limitaciones territoriales. En este contexto, se propone Les Gavarres, Cambrils Nord y La Plana como municipios para construir estos aparcamientos, repartiendo así dicho servicio equitativamente en el Camp de Tarragona.
<i>Orbital ferroviario alternativo</i>	En este caso, se pretende ubicar hasta 4 servicios de <i>Park&Ride</i> en la zona del Vallès Occidental (Santa Perpètua, B30, Volpelleres y Hospital General) por dos razones: para mejorar la oferta de los nuevos intercambiadores del Vallès Occidental que se implementaran y para evitar las retenciones que se originan en la red viaria que comprende los principales accesos a la capital en hora punta, como por ejemplo la C-16 y la C-58, entre otras. Por otro lado, la ubicación del <i>Park&Ride</i> en Granollers Centre permitirá evitar el tráfico característico de la C-17 y la C-33, característico a la entrada de Barcelona, entre otras razones ya mencionadas en el capítulo 7.2.1 y; la implementación de dicho servicio en Vilafranca del Penedès evitará los puntos de congestión en la AP-7, tanto en días laborables como en festivos. Por lo tanto, estos dos últimos aparcamientos disuasorios, aparte de configurar un orbital ferroviario alternativo que

permitirá ofrecer un servicio intermodal a usuarios del Maresme, para Granollers, como del Garraf, para Vilafranca del Penedès, también fomentarán el ahorro energético y evitarán la contaminación característica de ciertos puntos de la red viaria.

Tranvía Manresa

Mediante la implementación de esta infraestructura tranviaria que dista considerablemente de Barcelona, se pretende ofrecer un servicio más allá del ferroviario y este es el *Park&Ride*. Con el objetivo de que sea viable su integración se prevé la ubicación del aparcamiento disuasorio en **Manresa**, siendo una de los municipios más poblados de la Catalunya Central. Por lo tanto, este servicio intermodal permitirá al usuario hacer uso de una red ferroviaria integrada que dispone de ferrocarrils FGC y el tranvía a Berga y Solsona. Además, esta opción ferroviaria, a parte de minimizar el impacto ambiental del vehículo privado, se considera económica ya que evita el uso de la autopista más cara de España: la C-16.

Tabla 1: Análisis de las ubicaciones del Park&Ride en el diseño del modelo integrado ferroviario