



Planificación de los servicios

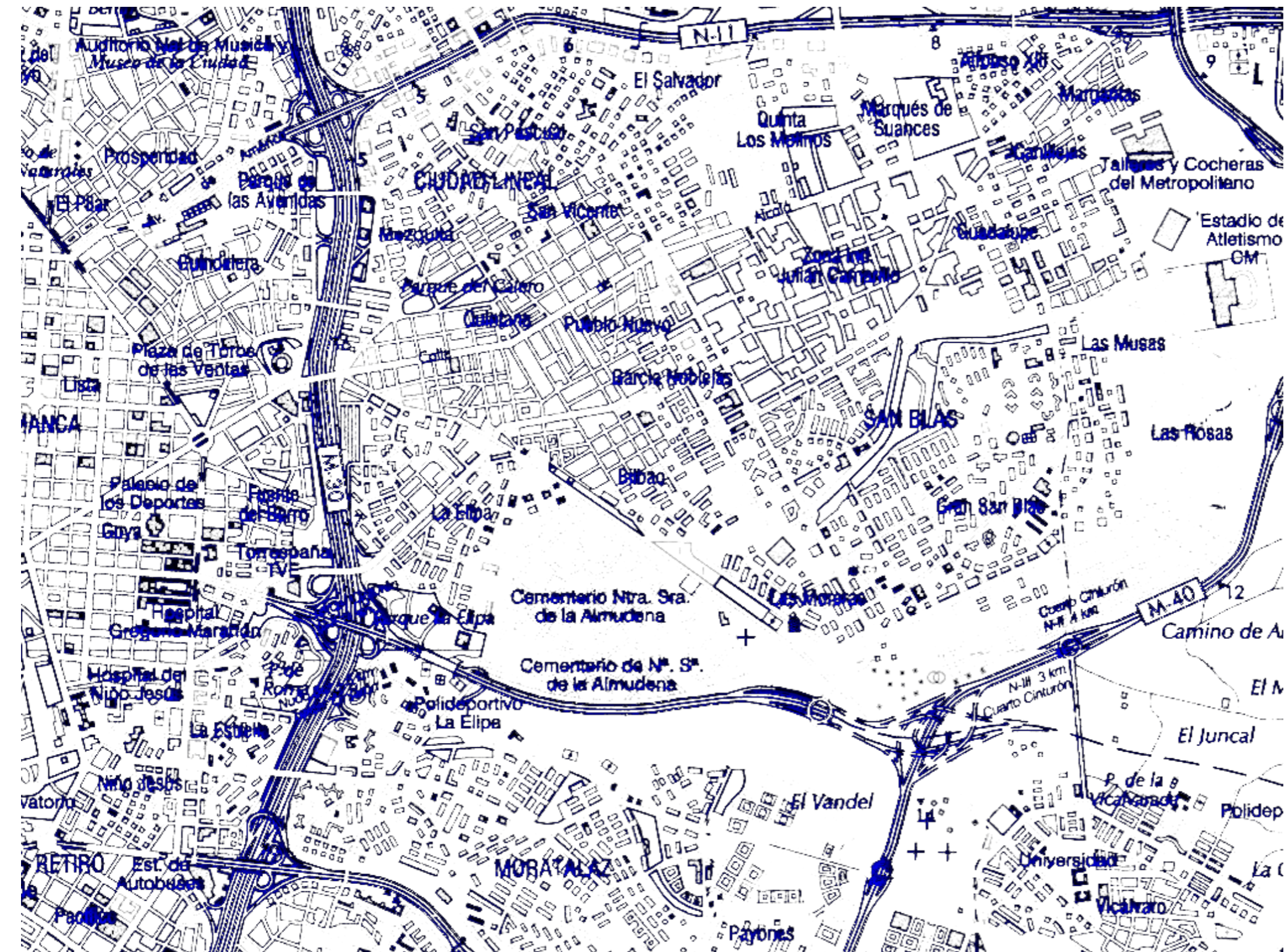
Ferrocarriles

Luigi dell'Olio
Borja Alonso Oreña
José Luis Moura Berodia

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0.



Planificación de líneas



- Marco Sociodemográfico
- Marco Socioeconómico
- La Movilidad
- Desarrollo Futuro
- Estudio de demanda y Transporte

Planificación de líneas



Visión finalista



¿Para qué se hace la infraestructura?

Normalmente, se hace para transportar personas y mercancías con eficiencia

No se hace para:

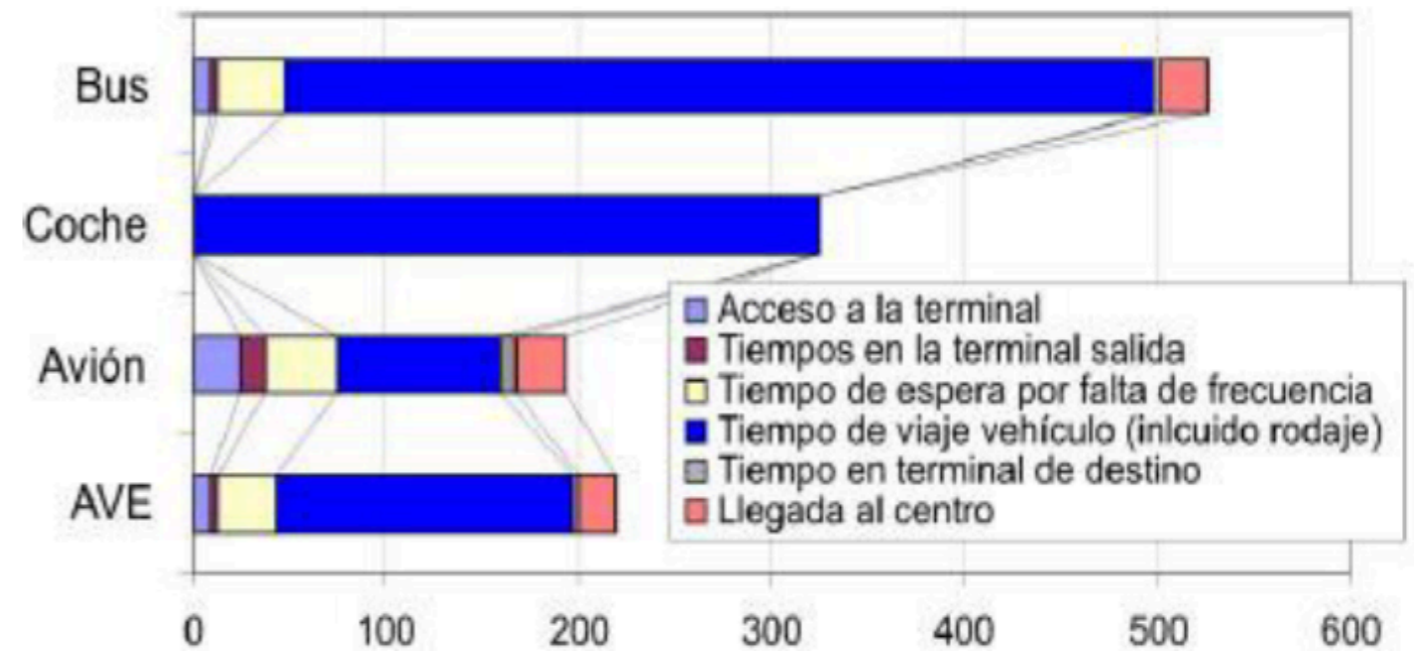
- Ganar premios de diseño
- Engordar el *curriculum* del diseñador
- Dinamizar la economía
- Dar de ganar a las empresas del sector

La visión finalista es la que debe primar en el diseño

Planificación de líneas

Visión de conjunto

- Enfoque de **SISTEMA**: El óptimo del sistema de alta velocidad no se consigue con la suma de los óptimos de los subsistemas
- De nada sirve un viaje a muy alta velocidad si se pierde tiempo llegado la estación, buscando aparcamiento, comprando el billete, etc.
- El transporte de viajeros tiene una peculiaridad: la desutilidad no es solo el coste económico del servicio, sino el tiempo que el viajero debe aportar:
 - La desutilidad del viajero = el dinero que le cuesta el viaje + lo que vale el tiempo que el viajero debe aportar, que a su vez el número de horas empleadas para el viaje x el valor del tiempo euros por hora).



¿Qué escogería un robot?, ¿y una persona media?



20 €. 110 g



19 €. 100 g



¿Qué contestaría cada uno a la pregunta de cuánto dura este viaje?

Hora de salida: 10:55
 Hora de llegada: 13:10



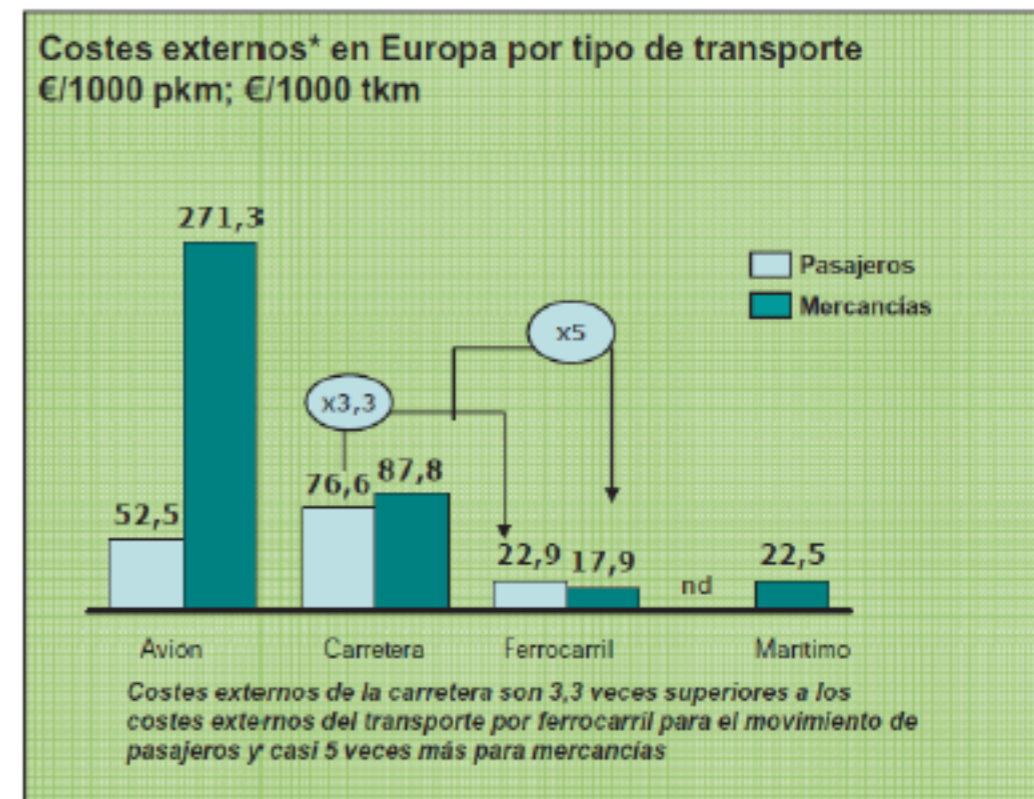
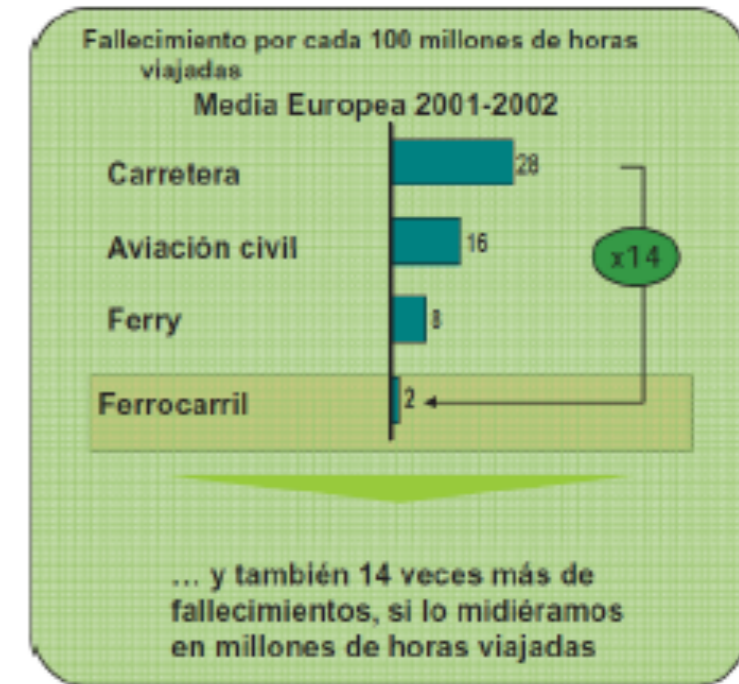
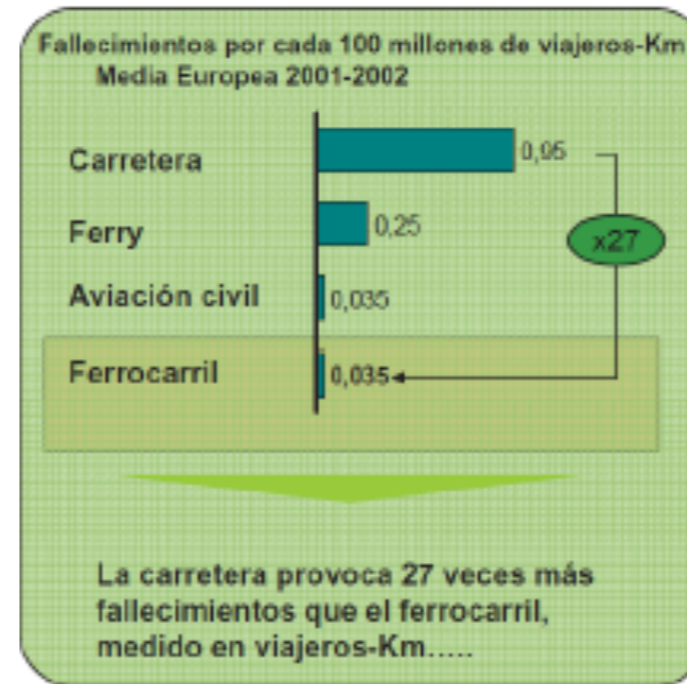
"Dos horas y cuarto"



"Unas tres horas"

Planificación de líneas

- Antes de construir una línea se realizan el balance financiero y el balance económico- social comparando la situación en la que no se construye la línea con la situación de la línea construida.
- Balance financiero: Flujos de ingresos económicos en el conjunto del sistema (infraestructura+operación). Suele ser negativo
- Balance económico social: Flujos económicos más flujos de costes externos y sociales (si resulta positivo se construye la línea)
- Obsérvese que si (como es frecuente), el balance financiero es negativo pero la línea se construye porque el balance económico social es positivo, no puede esperarse que el sistema cubra todos los costes. Tendrá cada año déficit financiero.



Planificación de líneas

2

Anticipación y visión de futuro



A. Anticipación: Incorporar mejoras en la fase de diseño aporta mucho valor y tiene poco coste. Con la línea ya en explotación, el coste de un cambio es mayor y el valor obtenido es menor.

- El tiempo empleado en "pensar antes de hacer" no es un tiempo perdido, sino un tiempo ganado

B. Visión de futuro: El diseño no debe hacerse para la tecnología y necesidades de hoy, sino del momento en que se usará

- Es frecuente que líneas y estaciones se diseñen para los trenes y necesidades del momento.
- Pero a lo largo de la vida útil cambiarán las tecnologías y necesidades...
- Y las líneas así diseñadas quedarán obsoletas.



Planificación de líneas: velocidad máxima

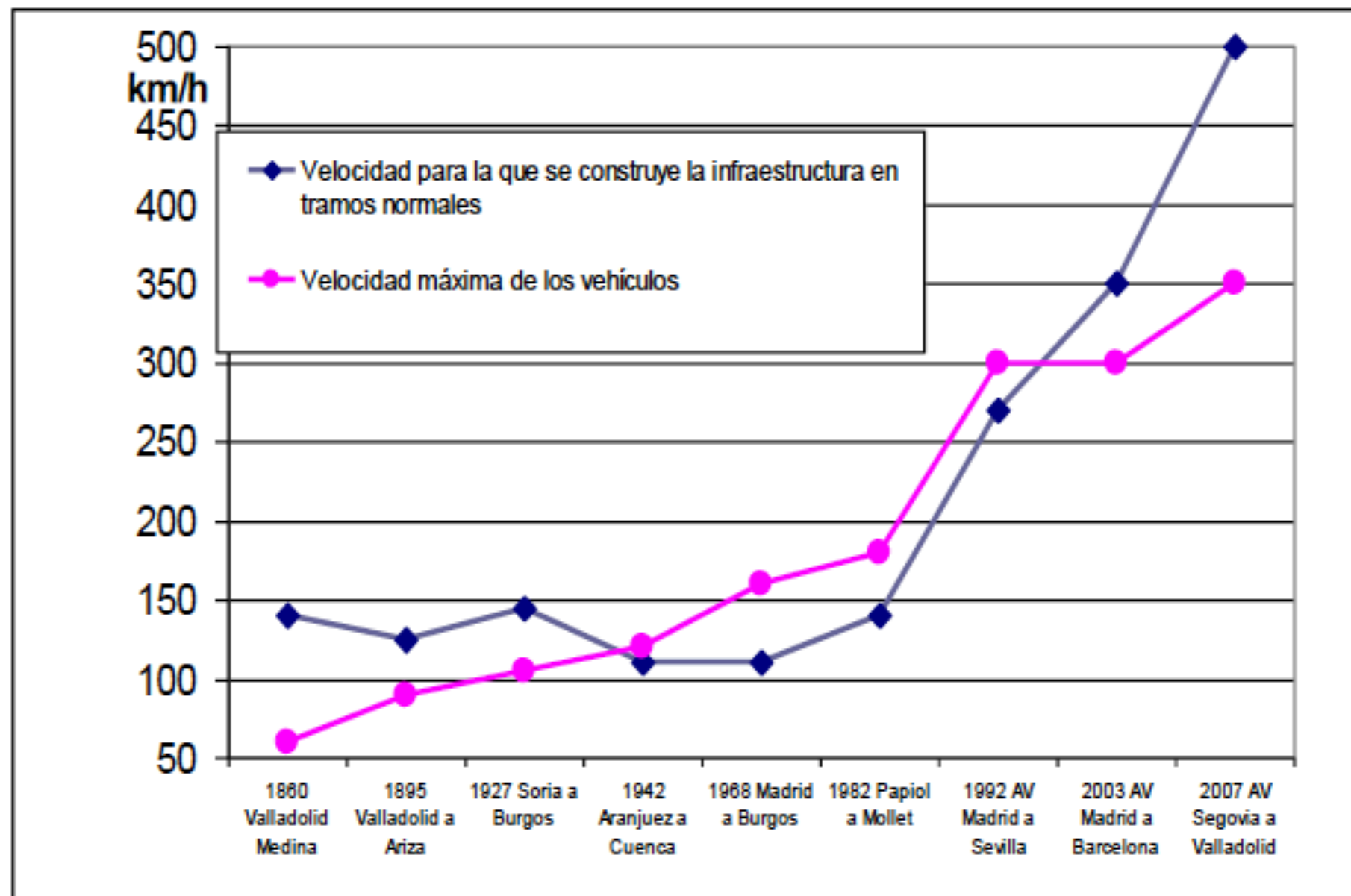
- La **velocidad máxima** de una línea es un parámetro importante... pero no es un fin en sí mismo.
- Lo importante es alcanzar un **tiempo de viaje** determinado.
- Para lograrlo, la velocidad máxima es una herramienta, per no la única.
- Si es necesaria una velocidad máxima, **no hay que descartarla** porque los trenes de ahora no la alcancen:
 - En 1825 se dijo que el hombre no podría moverse a mas de 40 km/h sin problemas para la salud...
 - En 1955 se aseguró que el límite del sistema rueda-carril estaba en 200 km/h.
 - En 1980 se creía que no se podría pasar de 300 km/h por motivos energéticos y ambientales...

Planificación de líneas: velocidad máxima

- En 2000 se aseguraba que era imposible diseñar la línea de Madrid a Barcelona para 350 km/h porque en ningún lugar del mundo se circulaba a esa velocidad. Pese a ello, se diseñó para 350 km/h y...
 - El tren serie 103 (Siemens) se ha diseñado para 350 km/h y ha alcanzado los 403 km/h en pruebas en la línea... Desde 2011 ya se circula a 310 km/h en la LAV Madrid Barcelona
 - El Talgo serie 102 se ha diseñado para 330 km/h y alcanzó ya los 363 km/h.
 - En Francia se circula, desde 2004, a 320 km/h y en China desde 2008 a 350 km/h
 - En febrero de 2007 se alcanzaron en Francia los 573 km/h
- Desde que se decide el parámetro de diseño hasta que se inaugura la línea suelen pasar de 6 a 10 años.
- Y la vida útil de la línea puede ser más de 100 años. En España hay trazados con mas de 150 años.
- La velocidad máxima de los trenes crece una media de 1,96 km/h al año.

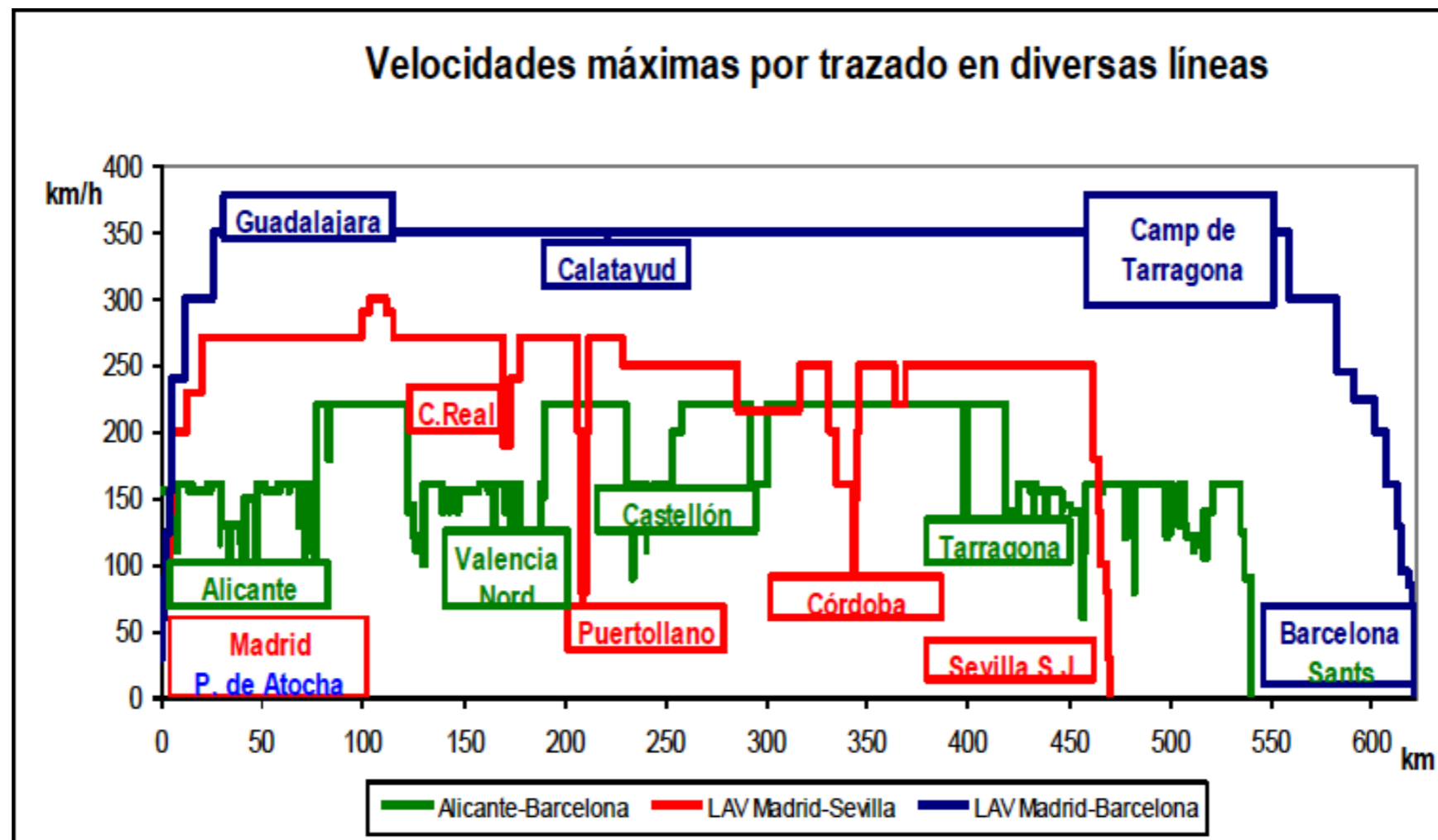
Planificación de líneas: velocidad máxima

- No siempre se ha diseñado para los trenes de mañana, sino que veces se ha diseñado para los trenes del ayer...



Planificación de líneas: velocidad máxima

- Muchas veces, para lograr una determinada velocidad media es mejor subir la mínima que subir la máxima, ya que, en general, supone: menos consumo de energía, más capacidad de la línea, menos desgaste del material.



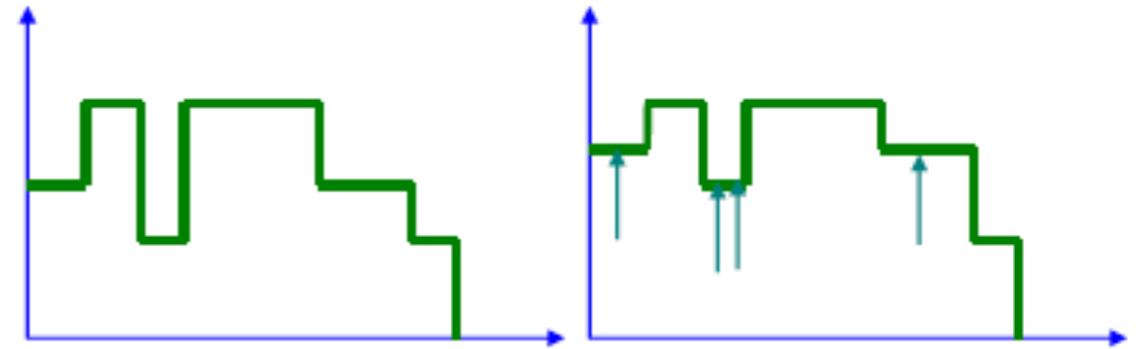
LAV Madrid Sevilla: 471 km; $V_{\text{máx}}$ 270-300 km/h; V_{med} 227,13 km/h. Med/máx 75,7 %. 2:20.

LAV Madrid Barcelona: 621 km; V_{max} : 350 km/h; V_{med} 326,26 km/h; Med/Max 96,07% 2:20

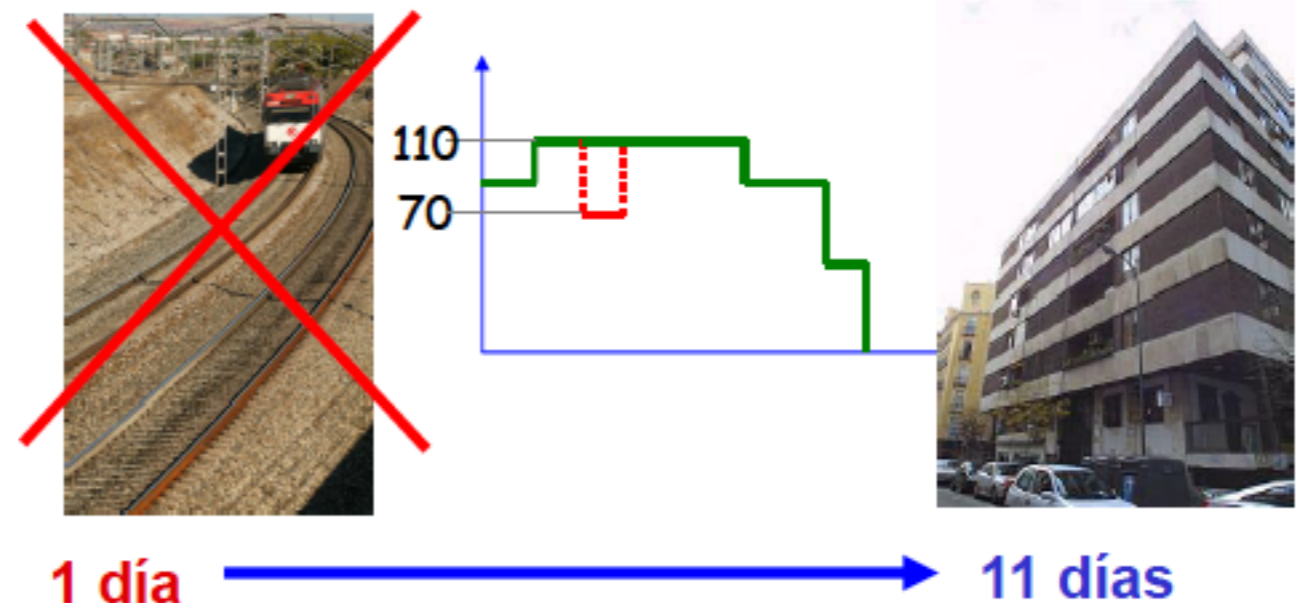
Consecuencia: 32% más de distancia y el mismo tiempo de viaje: el necesario para derrotar al avión

Planificación de líneas: velocidad máxima → eficiencia energética

- Una de las razones más fuertes de consumo es Menos coste de construcción. la disipación de energía por el frenado de los trenes (puede llegar a ser del 50%).
- Por ello, conviene homogenizar el perfil de velocidades:
 - Imprescindible subir las mínimas.
 - Especialmente donde esta baja y luego vuelve a subir
 - Las máximas no hay que bajarlas (no son obligatorias y son un recurso).



Eliminar una limitación a 70 km/h en un tramo de 110 km/h en una línea de cercanías, con un tráfico denso puede suponer al día un ahorro de 5.500 kWh (el consumo de un bloque de 28 viviendas durante 11 días)



Planificación de líneas: gálibos

- Los grandes sistemas ferroviarios que ganan dinero son dos....
 - El transporte de mercancías en Norteamérica
 - El de viajeros en alta velocidad en Japón...
- Tienen en común que no respetan el gálibo tradicional.
- Trenes más anchos y más altos (para la misma capacidad) ...

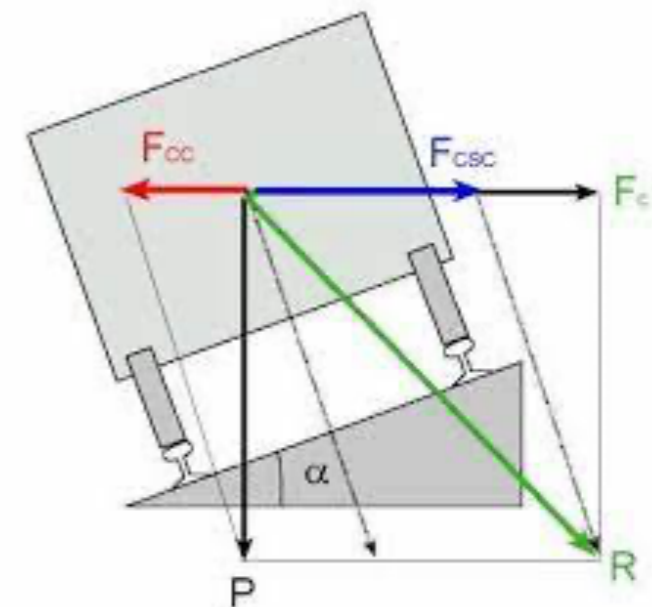
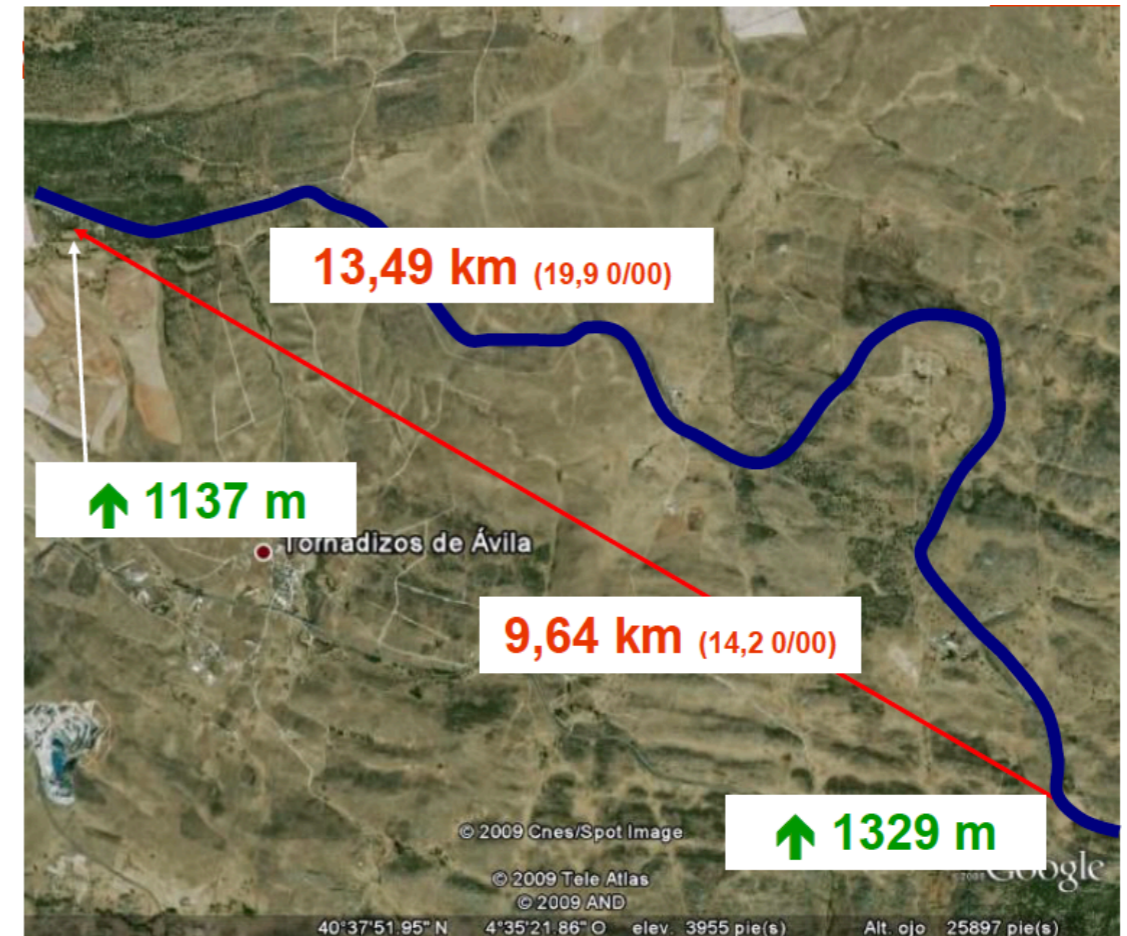


- Necesitan menos longitud de andén
- Cuestan menos dinero
- Cuesta menos el mantenimiento
- Consumen menos energía

Tren de alta velocidad 300 km/h 380 plazas	<u>Caja normal</u> <u>1 nivel</u>	<u>Caja ancha</u> <u>2 niveles</u>	<u>Dif (%)</u>
Longitud (m)	200	90	-55%
Masa (t)	400	183	-54%
Potencia (kW)	8.800	4.660	-47%
Coste	100	71	-29%
Consumo energía (kWh/km)	18	11,6	-38%
Coste op. (€/km)	6,70	4,66	-31%

Planificación de líneas: trazado

- Mayores rampas y pendientes suponen:
 - Menos coste de construcción
 - Trazados más cortos
- Pero a cambio...
 - Se precisa más tracción para subir a la misma velocidad
 - O se pierde velocidad con la misma tracción.
- En la línea de Madrid a Sevilla se limitaron la rampas a 12,5 mm/m para que circularan trenes de mercancías, pero no circuló ninguno...
- La de Madrid a Barcelona se construyó con 25-30 mm/m...y no se descarta que circulen mercancías...



Planificación de líneas: trazado

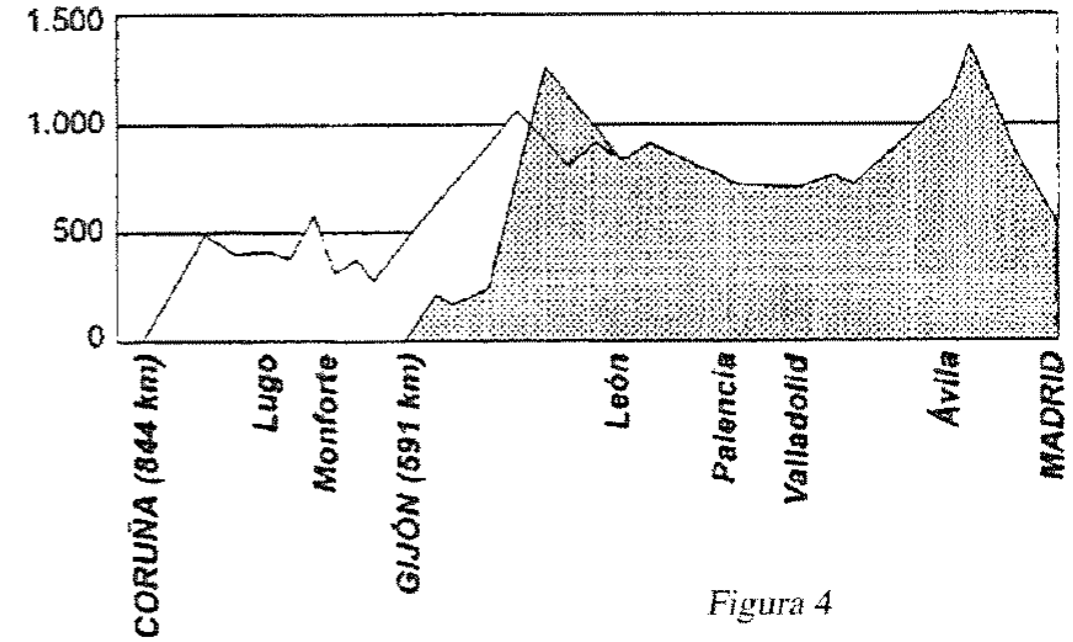
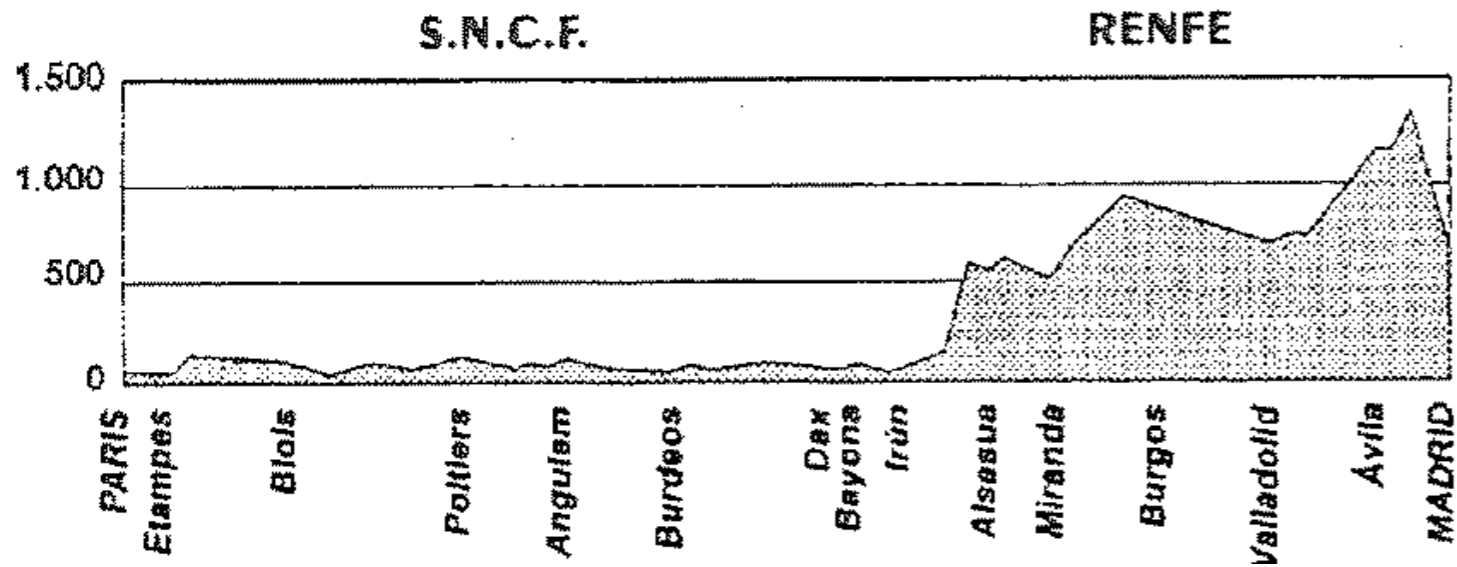


Figura 4

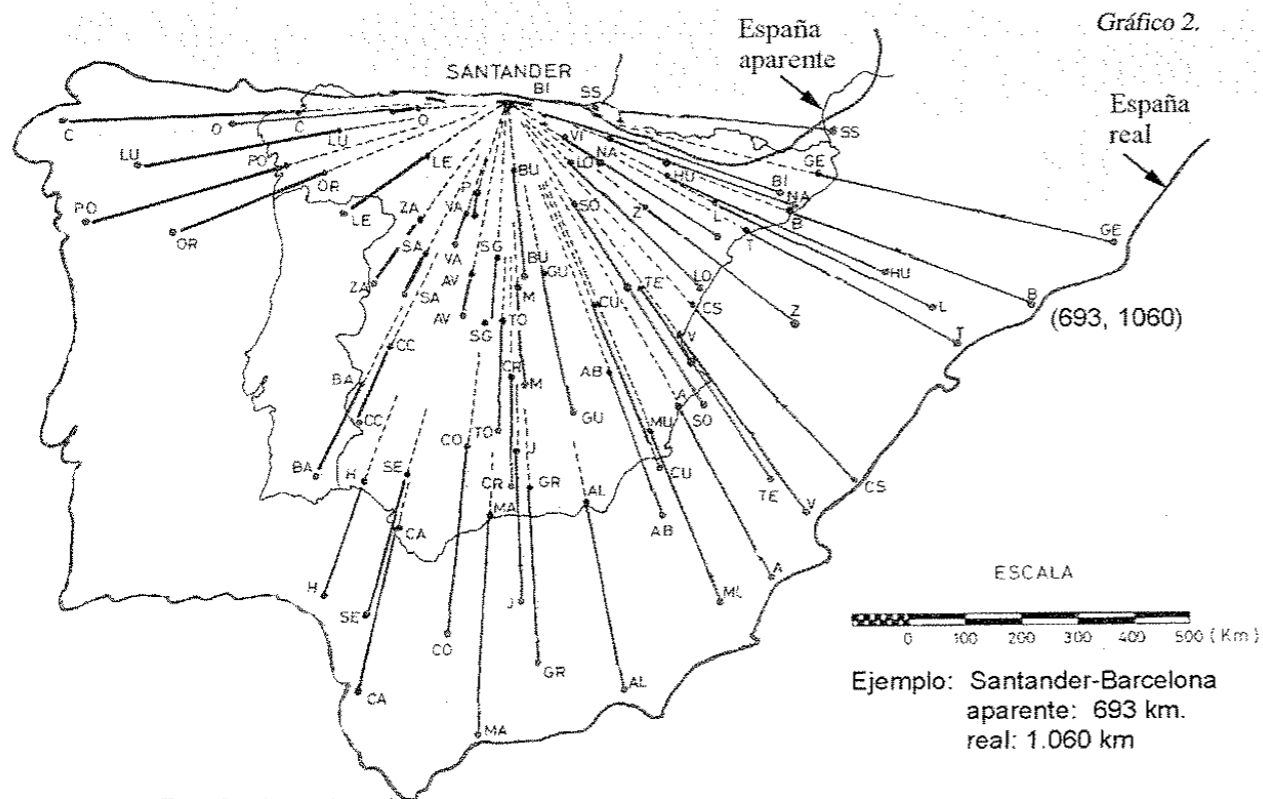


Gráfico 2.

España distorsionada.
Distancias aparentes y distancias reales por ferrocarril de Santander a las restantes ciudades españolas

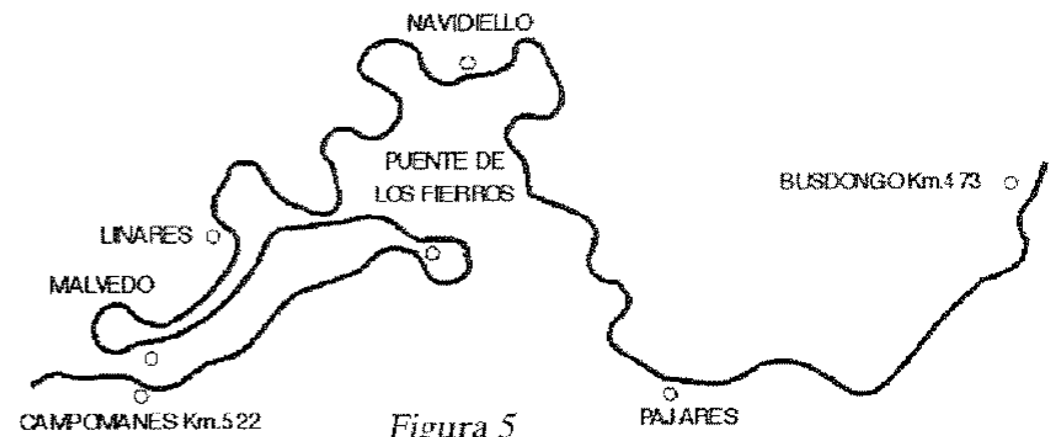


Figura 5

Planificación de líneas: trazado

La elevación de la cota de las estaciones supone para los trenes con parada, acumular parte de la energía cinética en forma de potencial en vez de disiparla en el freno.

- Además ello elimina los costes del uso del freno...
- Permite reducir las puntas de consumo en los arranques...
- Y si la estación es subterránea, reduce la altura de las comunicaciones verticales...



- Ejemplo: En una estación de cercanías se eleva la cota relativa 3 m. Se pueden ahorrar al día unos

1.500 kWh
1 día



3 días



Planificación de líneas: longitud de vía útil

	ABIERTOS	CERRADOS	PLATAFORMAS			TOLVAS	CISTERNAS
			NORMALES	COCHES	CONTENEDORES		
L MÁX. (m)	14	22	28	26	27	18	17
MÁX. PESO (t)	80	90	90	40	120	90	90
MÁX. VEL. (km/h)	100	120	120	160	120	120	120

Planificación de líneas: longitud de vía útil

MERCANCÍAS (12 ‰)

LOCOM.	V. MÁX.	PESO	LONG.	MÁX. CARGA REMOLCADA	ABIERTOS	CERRADOS	PLATAFORMAS			TOLVAS	CISTERNAS
							NORMALES	COCHES	CONTENEDORES		
601.E	120	130	22,41	2125	371	509	642	1318	470	421	398
601.D	120	130	22,41	2159	377	517	653	1340	478	427	405
335	120	123	23,02	1890	332	454	572	1171	420	376	356
269.85	100	176	17,27	2220	374	516	652	1345	476	425	403
252	220	90	20,40	1200	214	291	365	741	269	242	229
253	140	87	18,90	1530	271	371	467	956	343	307	291



Planificación de líneas: longitud de vía útil

MERCANCÍAS (18 ‰)

LOCOM.	V. MÁX.	PESO	LONG.	MÁX. CARGA REMOLCADA	ABIERTOS	CERRADOS	PLATAFORMAS			TOLVAS	CISTERNAS
							NORMALES	COCHES	CONTENEDORES		
601.E	120	130	22,41	1517	264	361	453	923	334	299	283
601.D	120	130	22,41	1522	265	362	455	926	335	300	284
335	120	123	23,02	1340	235	320	401	814	296	266	252
269.85	100	176	17,27	1580	262	360	453	929	332	297	282
252	220	90	20,40	880	158	213	265	533	197	178	169
253	140	87	18,90	1080	192	261	327	664	242	217	206



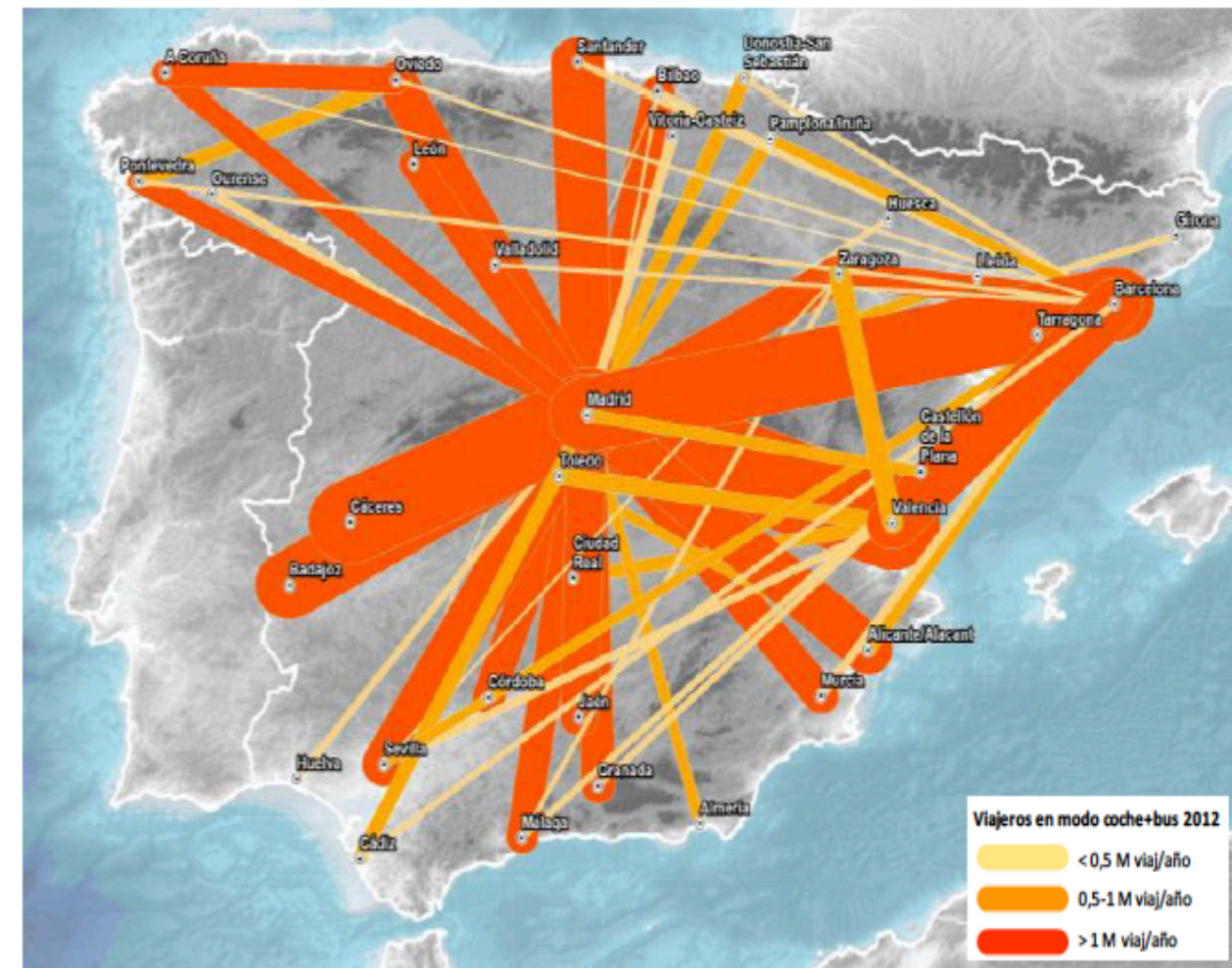
Planificación de líneas: trazado y cargas remolcables: el problema del límite de adherencia



Planificación de líneas: el caso de la Alta Velocidad



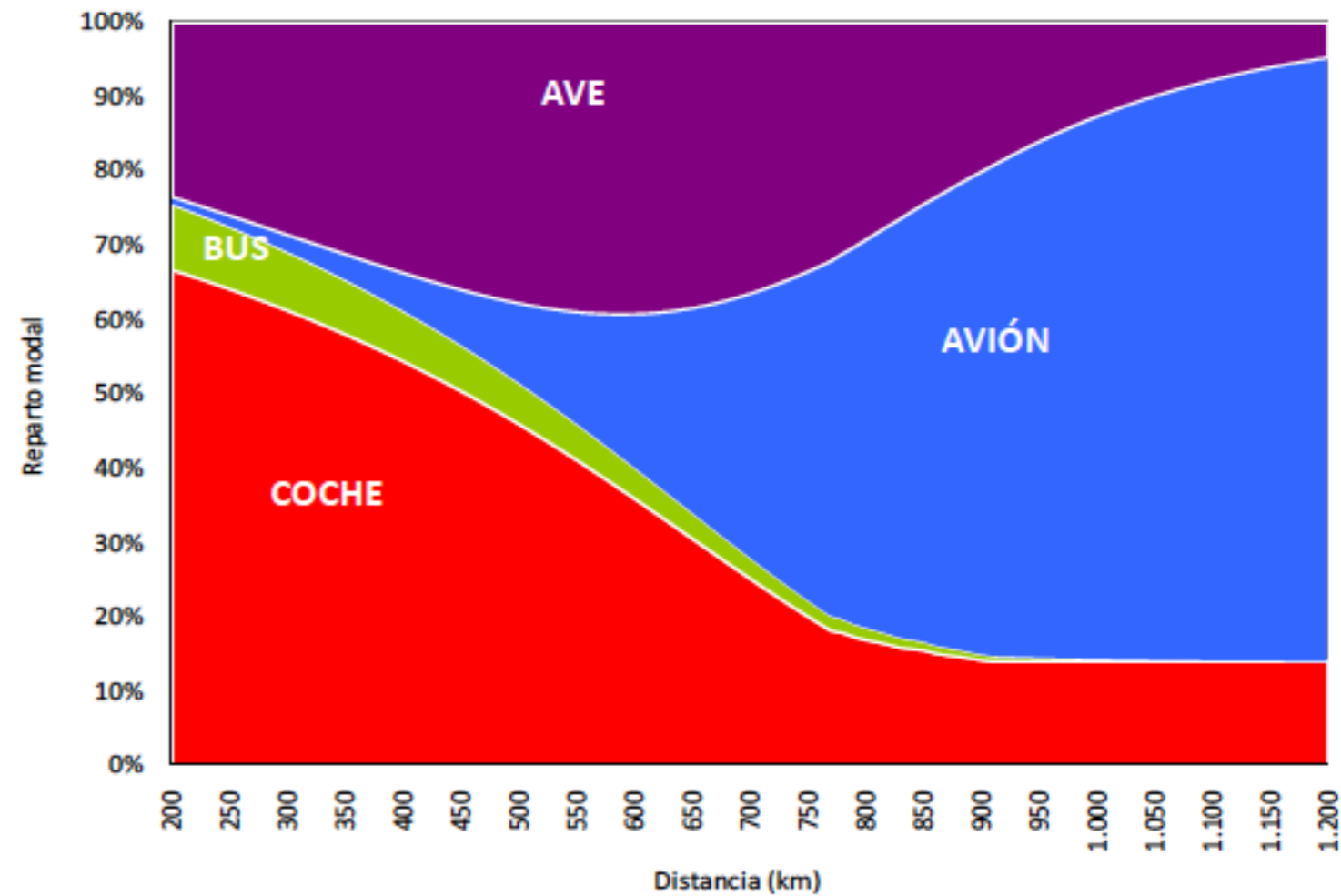
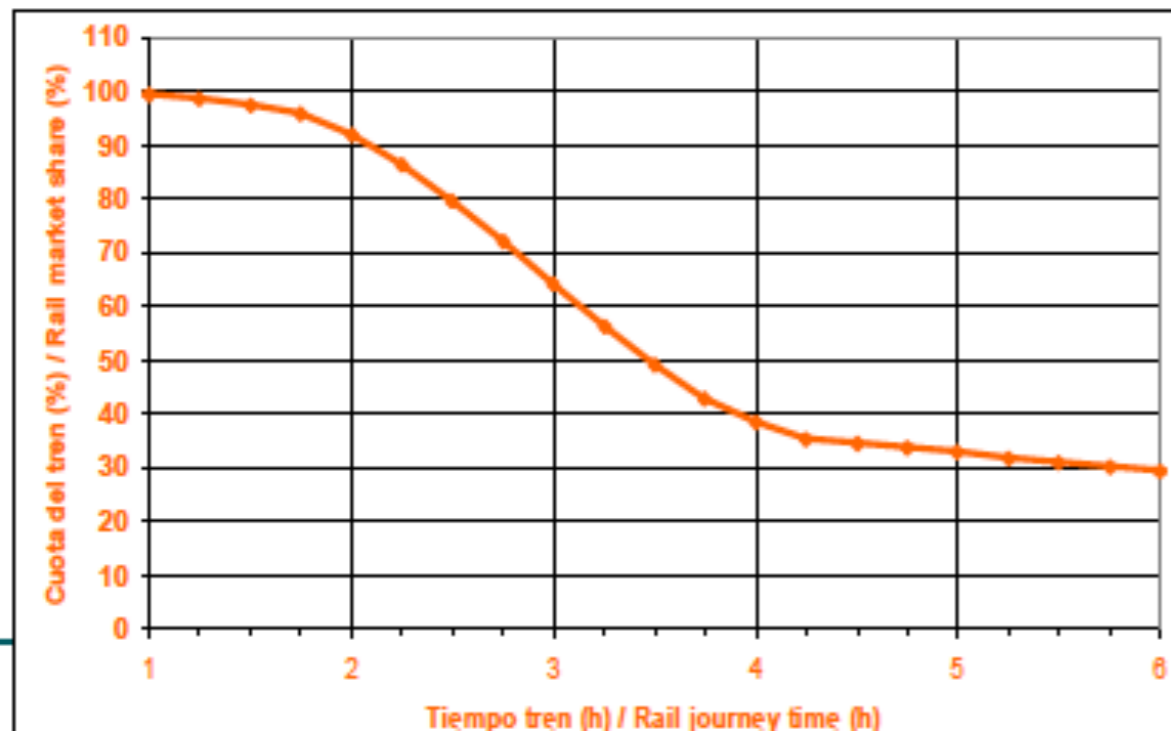
Red Alta Velocidad (2022)



Principales relaciones Origen-Destino de viajes por carretera (2012)

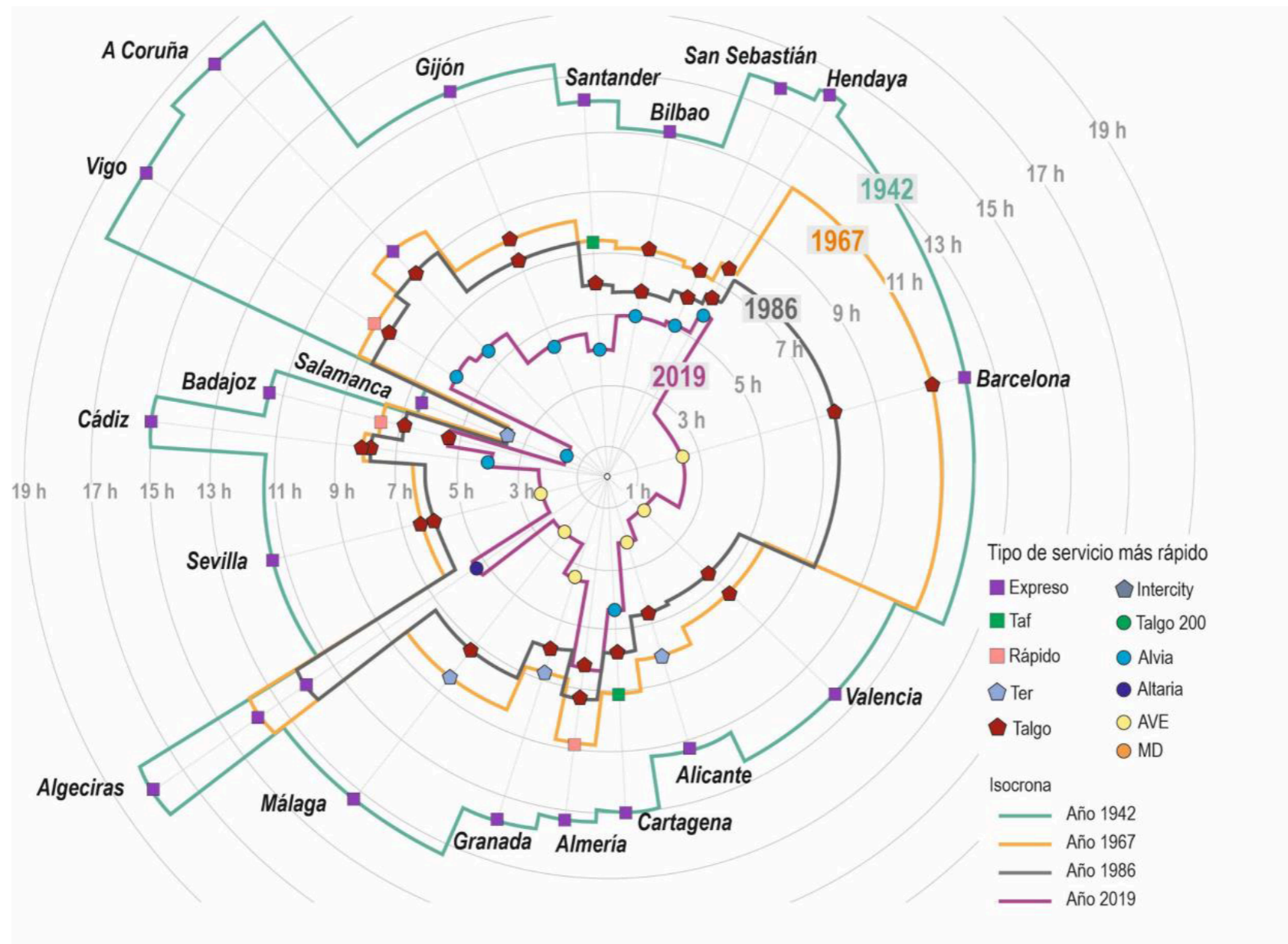
Planificación de líneas: el caso de la Alta Velocidad

La relación entre reducción de tiempo y aumento de la demanda no es lineal :La “regla de las tres horas”



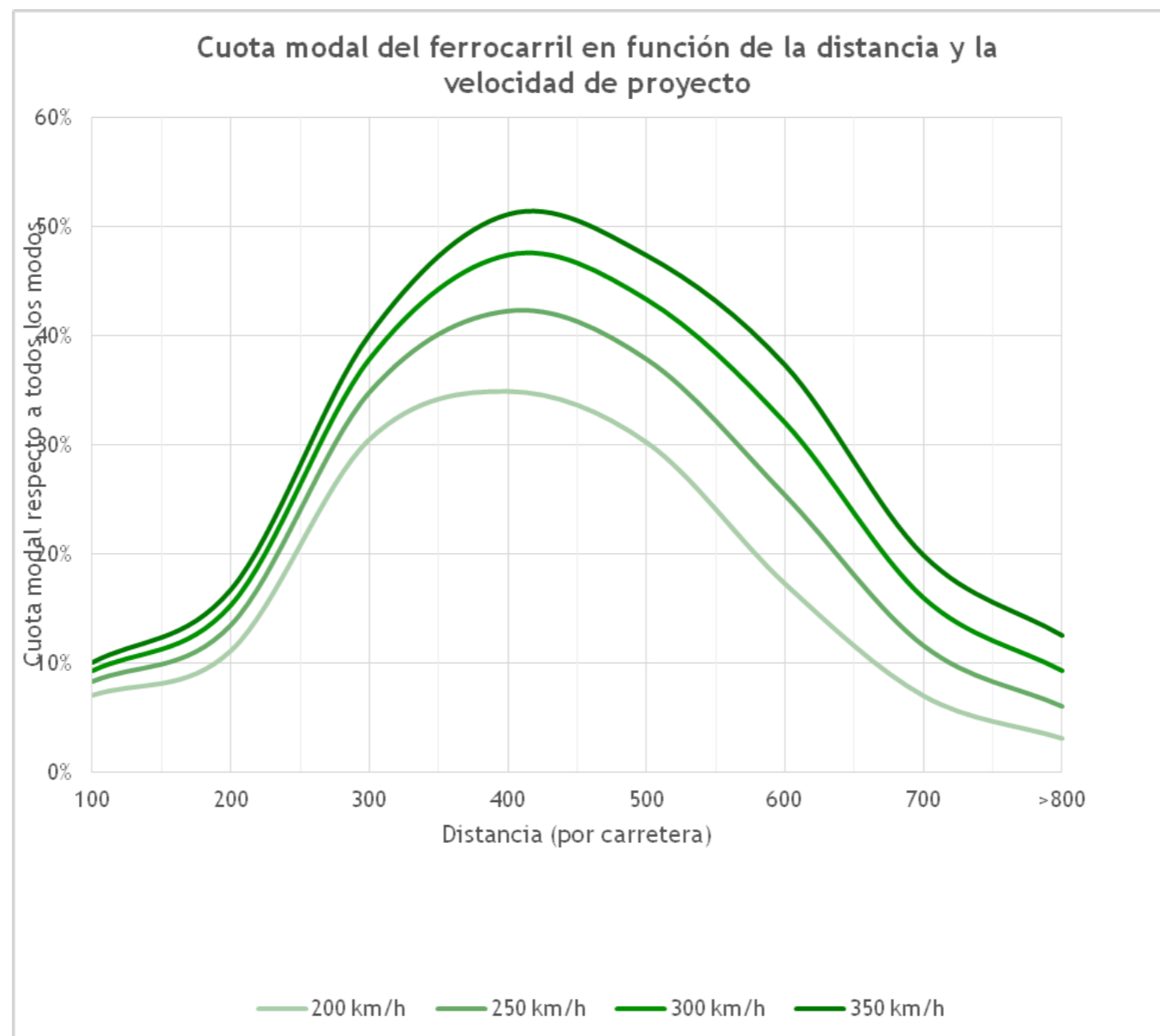
Planificación de líneas: el caso de la Alta Velocidad

La relación entre reducción de tiempo y aumento de la demanda no es lineal :La “regla de las tres horas”



Planificación de líneas: el caso de la Alta Velocidad

La relación entre reducción de tiempo y aumento de la demanda no es lineal :La “regla de las tres horas”



Planificación de líneas: el caso de la Alta Velocidad



Red Autopistas



Red Alta Velocidad

Bibliografía

- García Álvarez, A. (2022) Manual de ferrocarriles. El sistema ferroviario español. Ed. Garceta.
- García Álvarez, A. (2011) Diseño funcional y técnico de estaciones ferroviarias para viajeros. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- García Álvarez, A. (2022) Criterios de diseño de líneas y estaciones. Apuntes del Máster en Ingeniería Ferroviaria. Universidad de Cantabria-Máfex
- <https://www.youtube.com/watch?v=iGHSmVyLkXU>