

DOTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

Reflexiones sobre el concepto de densidad de la red de alta velocidad

Reflections on the concept of high-speed network density

Iván Palacio Vijaide y Luís E. Mesa Santos*

RESUMEN

La densidad de la red ferroviaria de alta velocidad, sea en relación con la superficie o con la población del país, es utilizada en ocasiones para juzgar su adecuación para atender eficientemente las necesidades de movilidad. Sin embargo, la utilidad de este indicador es dudosa: en primer lugar, porque la densidad en si misma es poco relevante si no se pone en relación con las distancias, distribución de la población y otros indicadores territoriales; y en segundo lugar, porque la densidad debe medirse para el conjunto de una red, no para alguna de sus partes. En el caso de España, la densidad de líneas de alta velocidad es elevada en comparación con la de otros países, pero la red total (en la que las líneas de alta velocidad están totalmente integradas) sigue siendo pequeña, por debajo de la mitad de la media mundial y en valores próximos a los que ha tenido en los últimos cien años. Las líneas de alta velocidad han venido a sustituir a líneas que se han cerrado, manteniendo semejante la longitud y densidad de la red.

En suma, el hecho de que la ratio entre kilómetros de línea de alta velocidad en España y la superficie del país sea más alta que otros lugares, no significa inadecuación de la red, o exceso de prestaciones, ni tiene ningún sentido especial. Por el contrario, puede afirmarse como se muestra en este artículo, que las líneas de alta velocidad en España apenas han sustituido en cuanto a longitud a las líneas cerradas, por lo que la densidad sigue siendo baja. Sin embargo, la funcionalidad, prestaciones y tráfico de la red ferroviaria han aumentado con la llegada de la alta velocidad.

PALABRAS CLAVE:

Densidad de red; ferrocarril y territorio; prestaciones; eficiencia de las redes

* Grupo de estudios e investigación de geografía y tráficos ferroviarios, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

SUMMARY

The high-speed rail network density, whether it is related to the area or the population of a country, is sometimes used to judge its suitability to efficiently meet the mobility needs. However, the usefulness of this indicator is not clear: firstly, because density in itself is of little relevance if it is not related to the distances, population distribution and other territorial indicators; and secondly because density must be measured for the whole network, not for some of its parts. In the case of Spain, the density of high-speed lines is high in comparison with that of other countries, but the whole network (in which high-speed lines are totally integrated) is still small, below half the global average and in values close to the ones reached in the past one hundred years. High-speed lines have come to replace lines that have been closed, keeping the network length and density similar.

In summary, the fact that the ratio between kilometres of high-speed lines in Spain and the area of the country is higher than the one in other countries does not mean inadequacy of the network or excessive performance, and it lacks any special sense. On the contrary, it can be said as this article shows, that high-speed lines in Spain have barely replaced closed lines in terms of length, so the density is still low. Nevertheless, the functionality, performance and traffic of the rail network have increased with the arrival of high speed.

KEY WORDS:

Network density; railway and territory; performance; efficiency of the networks.

SUMÁRIO

A densidade da rede ferroviária de alta velocidade, seja relativamente à superfície ou à população do país, é utilizada por vezes para julgar a adequação para satisfazer eficientemente as necessidades de mobilidade. Não obstante, a utilidade deste indicador é duvidosa: em primeiro lugar, porque a densidade em si mesma é pouco relevante se não se associar às distâncias, distribuição da população e outros indicadores territoriais; e, em segundo lugar, porque a densidade deve ser medida para o conjunto de uma rede, não para partes do mesmo. No caso de Espanha, a densidade de linhas de alta velocidade é elevada em comparação a outros países, mas a rede total (em que as linhas de alta velocidade estão totalmente integradas) continua a ser pequena, inferior à metade da média mundial e em valores próximos aos obtidos nos últimos 100 anos. As linhas de alta velocidade têm vindo a substituir as linhas que têm fechado, mantendo semelhante comprimento e densidade da rede.

Em suma, o fato de que a relação entre quilómetros de linha de alta velocidade em Espanha e a superfície do país seja mais alta em noutros lugares, não significa inadequação da rede, ou excesso de desempenho, nem tem um sentido especial. Ao contrário, pode afirmar-se, como é mostrado neste artigo, que as linhas de alta velocidade em Espanha apenas substituíram o comprimento das linhas fechadas, portanto, a densidade continua a ser baixa. Não obstante, a funcionalidade, desempenho e tráfego da rede ferroviária aumentaram com a chegada da alta velocidade.

PALAVRAS CHAVE:

Densidade de rede, comboio e território; desempenho, eficiência das redes.

Para examinar el papel y la relevancia de las líneas de alta velocidad en el conjunto de la red ferroviaria española es preciso hacer un análisis de la evolución de dicha red, tanto en lo que se refiere a su longitud como a sus principales características. Ello es relevante por cuanto que en algunas publicaciones se hace alusión a la alta densidad de la red de alta velocidad en España utilizándola como muestra de un exceso de inversión o de dotación de infraestructuras, sin conectar este indicador con la densidad de la red en su conjunto y su reparto sobre el territorio.

1. Evolución de la longitud y de la densidad de la red española

La red ferroviaria española de interés general conoce pocas variaciones en su longitud una vez superada la fase inicial de crecimiento, que concluye en los primeros años del siglo XX. Desde entonces, las más importantes incorporaciones a la red corresponden a líneas cuya construcción se había iniciado durante las décadas de 1920 y 1930 (Zamora a Orense, Madrid - Burgos por Aranda, Santiago a La Coruña y el tramo Cuenca a Utiel de la línea Aranjuez - Valencia).

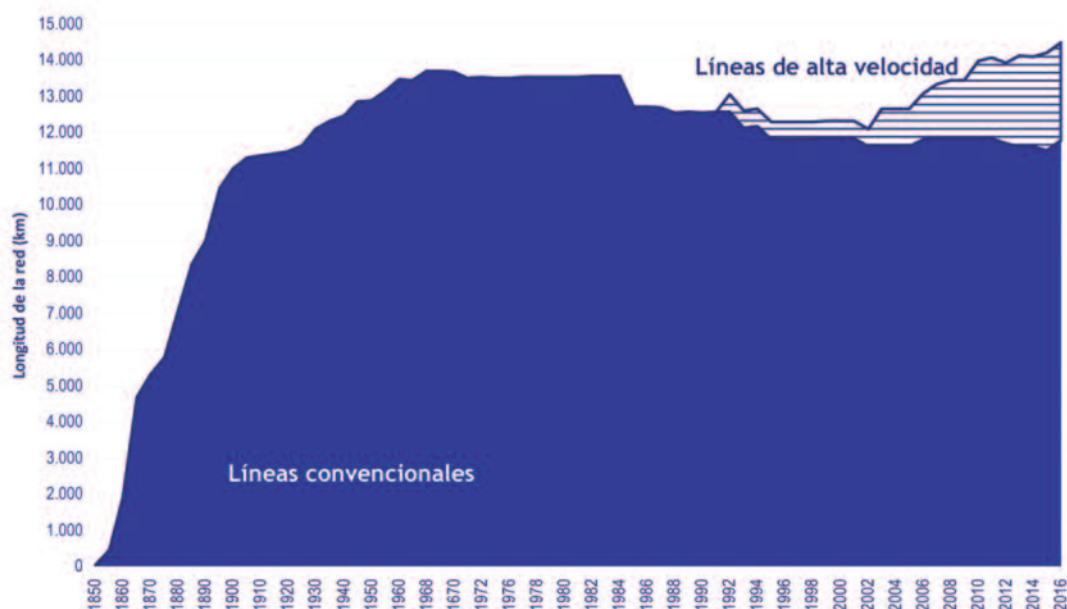
Según García Álvarez (2010) la longitud de la red española ha evolucionado de forma desigual, pudiéndose distinguir cuatro etapas diferentes:

1. Una etapa de fuerte crecimiento desde 1855 hasta 1905 con una longitud media anual de 217 kilómetros de nuevas líneas abiertas al servicio.
2. Una segunda etapa de ralentización en el ritmo de apertura de líneas, pero aún con tendencia a la expansión, hasta que la red alcanza su longitud máxima entre el 1 y el 30 de junio de 1969, con 13.744,5 kilómetros. En este periodo 1905-1969 se abren por término medio 31 kilómetros de nuevas líneas al año.
3. Desde 1969 comienza un proceso de cierre de líneas que supone la baja de 1.559 kilómetros hasta 1991. Una variación importante en este periodo se produce el 1 de enero de 1985, momento en el que se cierran a todo tráfico 854 kilómetros a lo que se suma la suspensión del servicio de viajeros en otros 648 kilómetros. El descenso en este periodo es el resultado de la apertura de una media de 17,7 kilómetros al año y el cierre de una media de 69,3 kilómetros.
4. Desde 1992 se abren líneas de alta velocidad y se frena el cierre oficial de líneas, lo que hace que la longitud de la red comience un lento proceso de recuperación de longitud que se acelera en el segundo lustro del siglo XXI, con la apertura de tramos de alta velocidad, lo que permite alcanzar en 2015 un máximo histórico de la longitud en servicio: 14.492 kilómetros.

¹ En este artículo nos referimos a la “red de interés general”, debiendo entender como tal la formada por las líneas de ancho de vía ibérico (1.668 mm) hasta la creación de Renfe en 1941, por las líneas integradas en Renfe desde esa fecha (que coincide esencialmente con el criterio anterior añadiendo las líneas de alta velocidad desde 1992) y por las líneas incluidas en la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) desde 2005. Este perímetro es consistente a lo largo del tiempo a efectos de analizar la evolución de su longitud, densidad y características, pero lógicamente no excluye la existencia de otras líneas y redes ferroviarias en España.

Tabla 1 y Figura 1. Principales hitos en la evolución de la red ferroviaria española

Fecha	Evento	Longitud red activa km	Características de la red activa			Longitud líneas cerradas km	Densidad de la red por superficie km/km ²	Densidad de la red por población km/Mhab
			Doble vía %	Electrificación %	AV %			
28-10-1848	Tras inauguración primer ferrocarril	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,06	2,3
31-12-1866	Fin ciclo expansivo	5.055,4	0,4	0,0	0,0	0,0	10,01	366,3
31-12-1896	Se ralentiza apertura de líneas	10.764,7	0,3	0,0	0,0	0,0	21,32	594,7
31/12/1905	Red básica completa	11.312,7	1,7	0,0	0,0	0,0	22,40	589,2
18/07/1936	Comienzo Guerra Civil	12.333,8	13,9	3,7	0,0	8,9	24,42	513,9
01/04/1939	Final Guerra Civil	12.564,6	13,9	3,6	0,0	99,9	24,88	483,3
10/09/1958	Finalización directo Galicia	13.665,9	13,5	12,8	0,0	133,8	27,06	455,5
01/06/1969	Máxima longitud red activa	13.744,5	14,5	22,5	0,0	263,8	27,22	406,6
01/01/1985	Tras el cierre de líneas	12.748,0	19,0	48,8	0,0	1.572,5	25,24	335,5
21/04/1992	Apertura primeras líneas AV	13.075,2	24,5	53,0	3,6	1.826,7	25,89	331,0
31/12/2010	LAV Valencia: Nueva máxima longitud	14.005,9	37,1	61,7	15,1	2.688,0	27,73	298,0
31/12/2016	Ultimo dato disponible	14.492,2	39,5	64,3	18,7	2.854,3	28,70	315,0



Fuente: García Álvarez (2010), INE y elaboración propia.

En suma, la longitud de la red sufre pocas variaciones en los 110 años que transcurren desde 1905 hasta 2015, oscilando entre un mínimo de 11.312 kilómetros y un máximo de 14.492 km, lo que representa una variación en la densidad entre los 0,022 km/km² y los 0,029 km/km². En la red ferroviaria principal se han cerrado 2.854 kilómetros de líneas, en su mayor parte en zonas de poca densidad de población y se han abierto 2.715 kilómetros de líneas de alta velocidad, en los ejes principales de tráfico y casi todas ellas redundantes con líneas existentes.

Figura 2. Líneas cerradas y nuevas líneas de alta velocidad en la red ferroviaria española

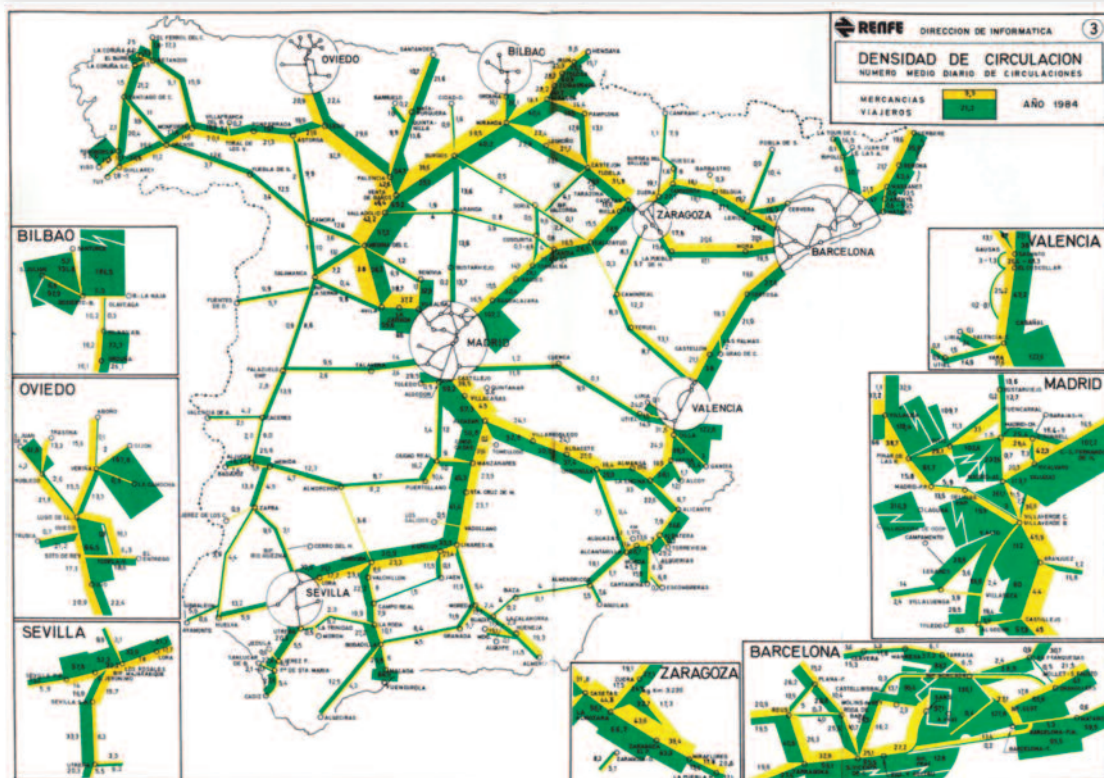


La longitud de líneas cerradas es casi idéntica las de las nuevas líneas de alta velocidad: La longitud y densidad de la red apenas ha variado, pero sí la distribución en el territorio.

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse, por lo tanto, que las líneas de alta velocidad han venido a “sustituir” a las líneas cerradas en cuanto a la longitud de kilómetros en explotación, pero no en su distribución sobre el territorio. Cuantitativamente, la longitud de la red es equivalente; sin embargo, hay un cambio cualitativo importante: mientras las líneas cerradas eran pequeños ramales de conexión a las generales o líneas transversales de vía única sin electrificar con deficiente mantenimiento y explotación en algunas de las zonas del país con menor peso demográfico y económico, las nuevas líneas de alta velocidad, en su mayor parte de doble vía, están distribuidas en los ejes de mayor tráfico del país y de alguna manera son paralelas a las líneas existentes. Así se aumenta la capacidad en los accesos a las grandes ciudades (Madrid, Barcelona, Sevilla, Valencia ...) y se completa la doble vía en estos ejes principales.

Figura 3. Densidad de circulación en las líneas de la red en 1984



En 1984 la diferencia de densidad de circulación era enorme: Mientras en muchas líneas incluso de vía única y sin servicio de cercanías se superaban las 65 circulaciones al día (Despeñaperros), en otras el tráfico era casi inexistente.

Fuente: Renfe, Dirección de Informática (1985)

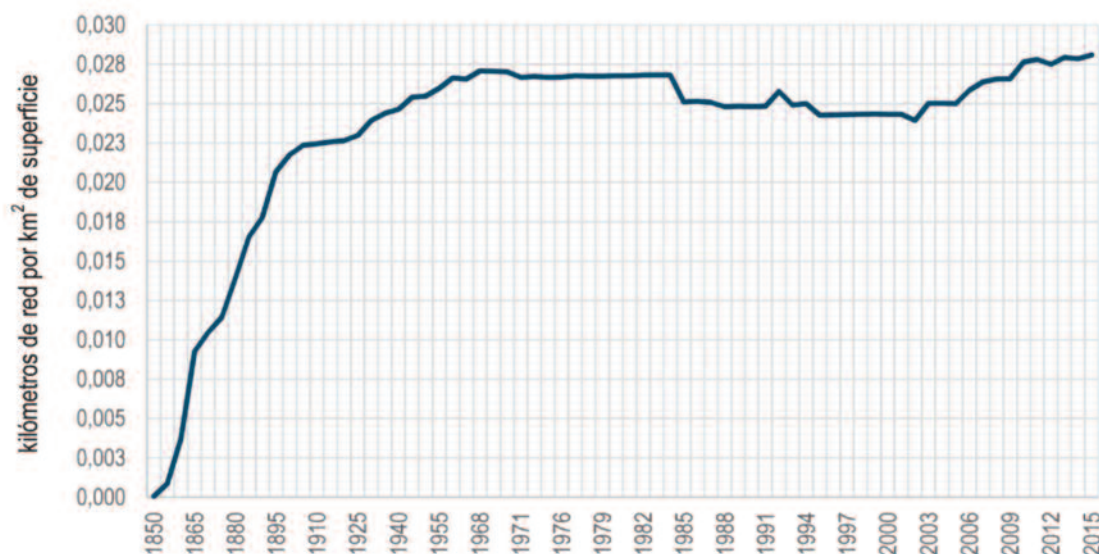
La existencia de tres o cuatro vías en cada uno de estos ejes permite además especializar los tráficos, obteniendo ventajas en términos de capacidad y velocidad. Prácticamente han desaparecido los cuellos de botella existentes en las entradas a grandes ciudades y otros estrangulamientos. Por otra parte, los tráficos de mercancías que circulan por las líneas clásicas obtienen grandes ventajas al tener menos tiempo de viaje por haberse eliminado de estas líneas los trenes de largo recorrido que han pasado a las líneas de alta velocidad.

Las nuevas líneas de alta velocidad se integran en la red ferroviaria mediante los trenes y cambiadores automáticos de ancho, que permiten compatibilizar la diferencia de ancho de vía entre la red convencional y de alta velocidad. Mediante este sistema, muchos trenes que circulan por estas líneas de alta velocidad luego continúan a través de los cambiadores por líneas preexistentes, en concreto continúan el 45,4% por ciento de los trenes que utilizan la red alta velocidad y el 36,9% por ciento de los viajeros que utilizan dichos trenes. Además, cada año, 1,7 millones de viajeros trasbordan de trenes de alta velocidad a trenes convencionales o al revés.

Finalmente, como queda indicado, los tráficos de mercancías en las líneas de Madrid a Valencia a Sevilla o Barcelona tienen tiempos de viaje mucho más reducidos y más oportunidades de

escoger horario, incluso permitiéndose en algunos casos trenes más largos, lo cual pone de relieve que la apertura de las líneas de alta velocidad ha tenido efectos sobre las prestaciones del resto de la red.

Figura 4. Evolución de la densidad de la red ferroviaria española en relación con la superficie del país (1850-2016)



Fuente: Elaboración propia

Parece evidente pues, que la red de alta velocidad no es funcionalmente independiente de la convencional, y que su longitud no puede relacionarse de forma aislada con la superficie del país, si no con su distribución sobre el territorio. La velocidad es, más bien, uno de los atributos como lo son la electrificación, la doble vía, o los sistemas de señalización, cuya dotación se debe expresar como un porcentaje de la red y no con forma de densidad.

2. La situación en la década de los 80

En la década que comienza en 1980 se produjo un momento clave en el desarrollo de la red: como queda expuesto, se cerró una parte importante de líneas y el ferrocarril alcanzó su máximo histórico de viajeros antes de empezar a declinar por la presión competitiva de la carretera y la aviación. En aquel momento hubo que tomar una decisión sobre la forma de afrontar una modernización de la red que la librase de su desaparición.

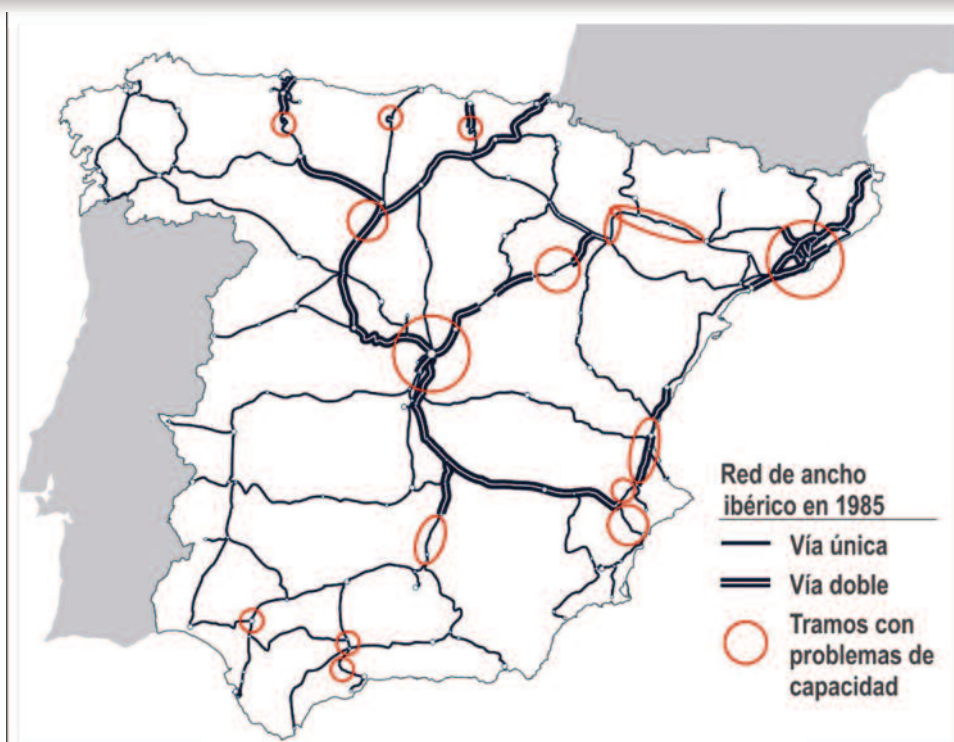
El ferrocarril en España estaba lastrado entonces por una red escasa y poco eficiente en la que no se había invertido durante décadas. Como consecuencia, el déficit de explotación aumentaba constantemente y se había acumulado una gran deuda.

La red ferroviaria española en 1985 se caracterizaba por:

- Una reducida longitud de la red (agravada por el cierre de 1985): 12.748 km.
- Recorridos proporcionalmente largos (+58% frente a la línea recta y +22% frente a la carretera).
- Poca capacidad, especialmente en entradas a grandes ciudades y tramos de montaña.
- Bajo porcentaje de vía doble y falta de vía doble en los principales líneas (19,9% en España; 44,9 % en Francia; 44,43 % en Alemania; 33% en Italia; 70% en Reino Unido,...).
- Velocidad máxima 140 km/h (la misma que en 1964) frente a 200 km/h en los principales países europeos.
- Tiempos de viaje cada vez menos competitivos con el coche.
- Las entradas a grandes ciudades eran, en la red ferroviaria, cuellos de botella que restringían el crecimiento de las cercanías, bajaban la fiabilidad de los trenes de mercancías y alargaban los tiempos de los de larga distancia.

Hay que tener en cuenta que sólo en 1992, tras la apertura de la primera línea de alta velocidad, se alcanzó en el conjunto de la red ¡el 20% de vía doble y el 50% de electrificación!

Figura 4. Red ferroviaria Española en 1985 con indicación de los tramos de doble vía y de los principales cuellos de botella



Red con servicio de viajeros.

Fuente: Elaboración propia.

Las perspectivas de extensión de la red de autovías y de la aviación, así como el rápido crecimiento de las concesiones de autobús suponían una amenaza cierta para el ferrocarril, especialmente en larga distancia.

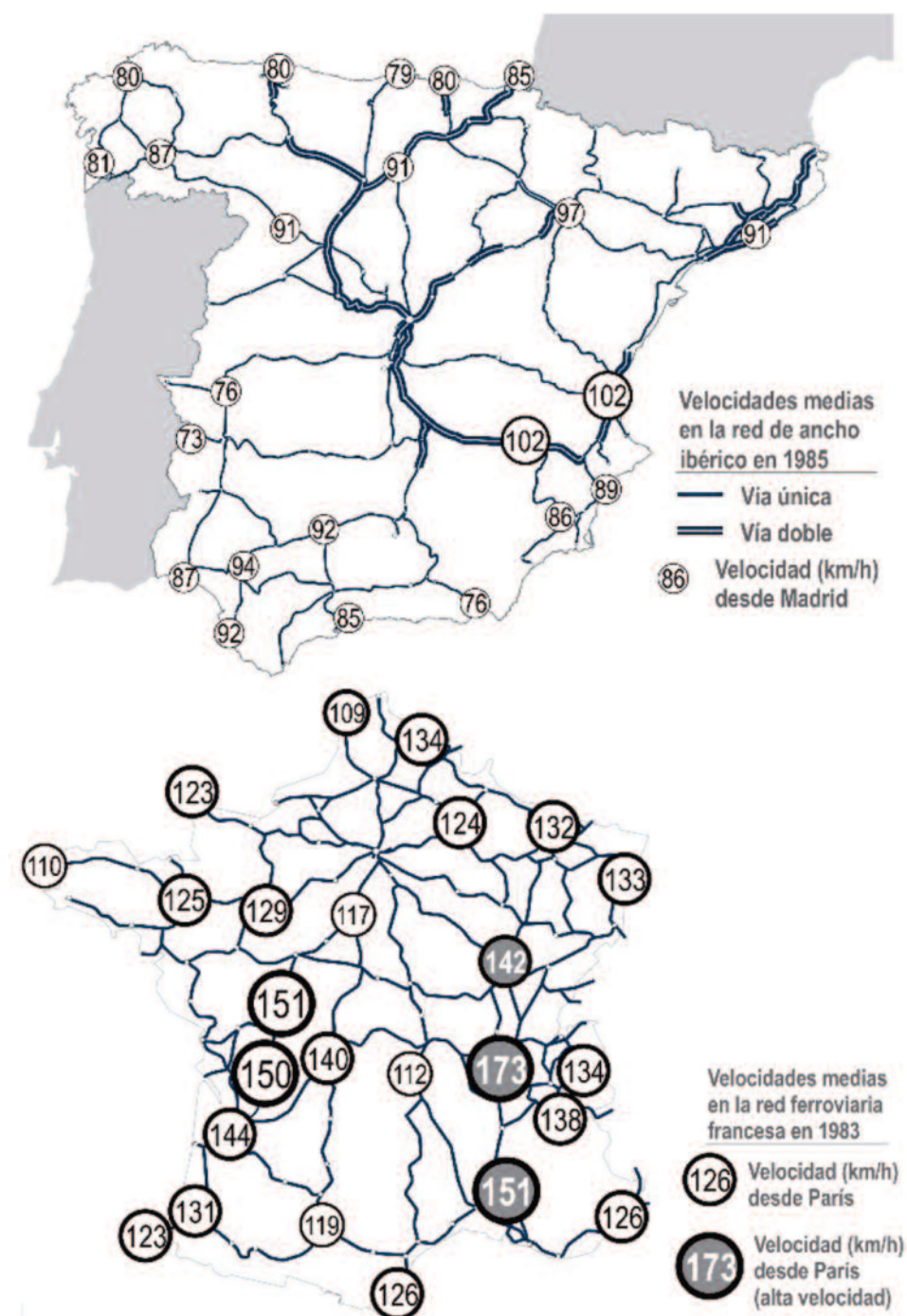
Mientras, en otros países como Francia o Alemania, la red era tradicionalmente más extensa y densa, y disponía de mejores perfiles en planta y alzado. En los años 60 se realizaron fortísimas inversiones en esos países para elevar la velocidad máxima a 200 km/h. Si bien esta velocidad se mostró inicialmente suficiente para competir con el coche, enseguida devino muy reducida para competir con el avión en distancias de más de 400 o 500 kilómetros.

Las distancias por ferrocarril eran, en estos países, relativamente más cortas que en España (del orden de un 30% frente a la línea recta) y disponían de mayor porcentaje de vía doble en itinerarios principales, e incluso cuádruple en tramos de cercanías.

Ante esta situación cabían tres alternativas principales:

1. No hacer nada significativo. Es decir, seguir con pequeñas renovaciones con leves mejoras de trazado, operación de trenes pendulares y mejoras en el material. Hubiera permitido, quizá, pasar la velocidad media de 105 a 125 km/h (logrando tiempos de viaje de 5:45 a 4:50 en distancias de 500 km por carretera).
2. Acometer la mejora de las principales líneas para 200 km/h (Lo que se hizo en Francia y Alemania en los 60). Hubiese permitido reducción de recorrido del 7% y velocidades medias de 150 km/h con tiempos de viaje de 4:00. El plazo habitual de ejecución de estas obras es de 12 a 20 años.
3. Abordar la construcción de nuevas líneas de alta velocidad (Con velocidades máximas de 300 km/h o más). Permitiría recorridos un 19% más cortos (ligeramente más reducidos que la carretera) con posibilidad de lograr velocidades medias de 210 km/h y tiempos de viaje de 2:20. El tiempo de ejecución de este tipo de obras es de 6 a 9 años.

Figuras 6a y 6b Velocidades medias desde la capital en las principales rutas españolas y francesas en 1985



Arriba, las velocidades medias desde Madrid del tren más rápido en 1985: la mayor es de 102 km/h. Abajo, la misma media desde París, indicando con fondo gris los casos en los que el tren es de alta velocidad. En líneas convencionales se llega a 150 km/h.

Fuente: Ministerio de Obras Públicas (1984).

3. El concepto de densidad de una red

La densidad, desde el punto del análisis geográfico, mide la relación entre la cantidad de un determinado tipo de seres vivos u objetos y el área de la superficie donde se localizan. La forma más habitual de utilizar la densidad es para relacionar las personas que habitan un territorio con una superficie previamente definida (municipio, valles, región, país, etc.) En este caso suele expresarse como habitantes por kilómetro cuadrado.

El indicador de densidad suele ser utilizado en análisis de redes de transporte. La densidad de una red se puede calcular mediante la relación de su longitud con una determinada superficie. Se puede expresar mediante metros o kilómetros por km². La densidad de la red puede referirse también a la población, indicando por ejemplo los kilómetros de red por cada millón de habitantes. Igualmente pueden utilizarse indicadores de densidad de uso de la red.

Normalmente, los diferentes atributos de una red no se miden relacionándolos con la superficie, sino en proporción o porcentaje sobre la longitud total de la red.

Tabla 2. Densidad de habitantes por unidad de superficie en varios países europeos

País	Superficie total (km ²)	Superficie continental (km ²)	Población total (hab) 2014	Población continental (hab) 2014	Densidad total (hab/km ²)	Densidad continental (hab/km ²)
España	504.645	492.174	46.512.199	43.274.416	92	88
Alemania	357.168	357.168	80.767.463	80.767.463	226	226
Francia	640.679	543.132	65.820.916	63.582.492	103	117
Italia	301.338	251.415	60.782.668	54.023.872	202	215
Portugal	92.212	89.102	10.393.000	9.918.548	113	111

Fuente: Elaboración propia.

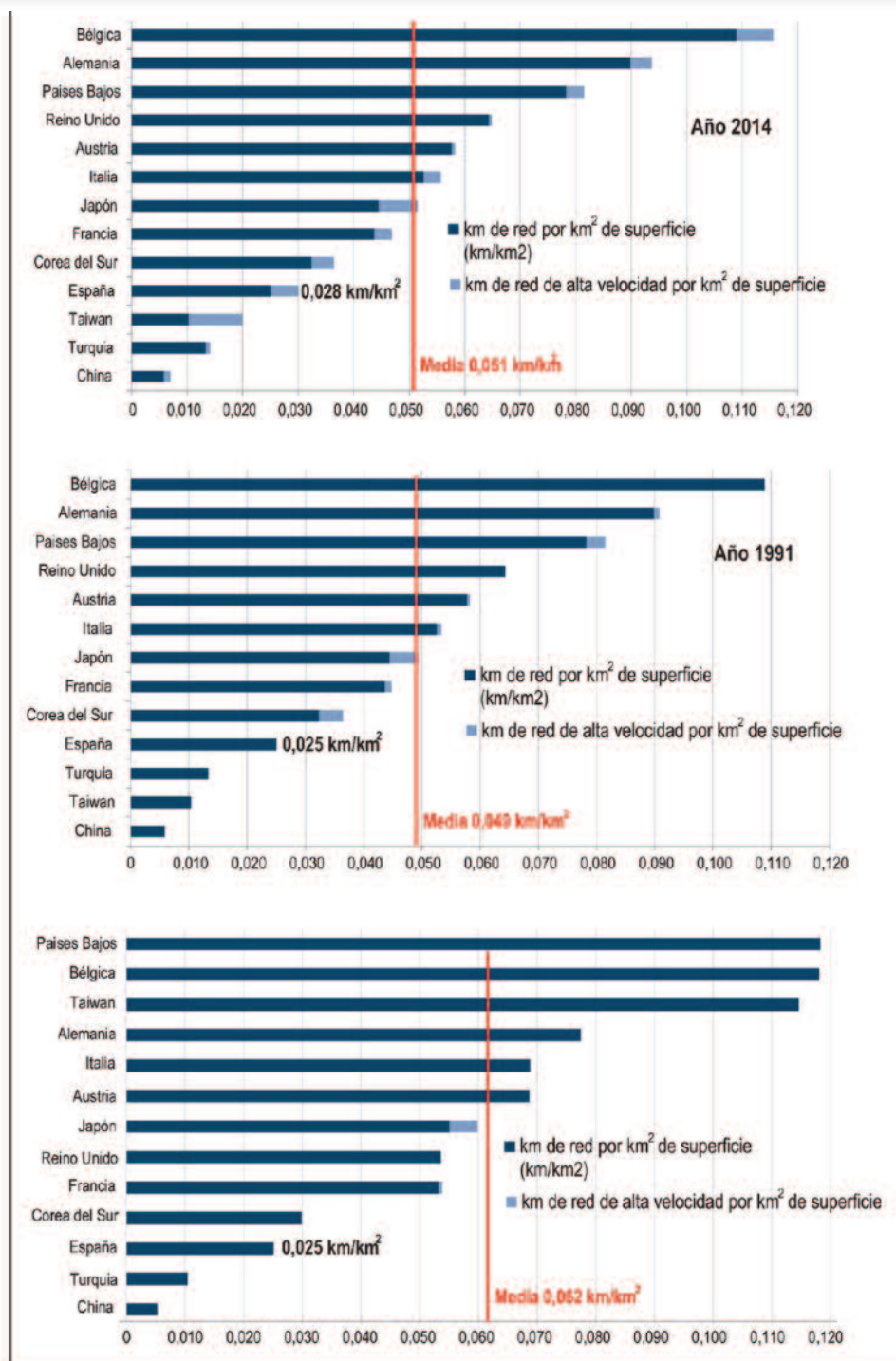
La densidad de una red proporciona alguna información sobre la dotación de la infraestructura y el potencial del transporte sobre ella, siendo de suponer que mayor densidad permitirá un mayor y más adecuado servicios de transporte.

Sin embargo, la densidad no es por si mismo un indicador definitivo. Presenta cuando menos dos limitaciones:

1. Al tratarse de una media puede enmascarar realidades muy diversas, especialmente cuando se trata de superficies grandes, referidas a regiones o países.
2. No tiene en cuenta otras variables socioeconómicas y territoriales, de manera que valores similares pueden significar realidades muy diferentes, como se muestra posteriormente en el ejemplo.

La densidad de población y densidad de red, por tanto, no constituyen un indicador relevante a la hora de definir lo adecuada o eficiente que es una red, ya que en esta adecuación influyen otros muchos factores, tales como la posición relativa de los asentamientos de población, distancia entre ellos, forma de la superficie del país, estado de conservación de la infraestructura, métodos de explotación, etc.

Figuras 6a y 6b Velocidades medias desde la capital en las principales rutas españolas y francesas en 1985 Figuras 7a, 7b y 7c. Densidad de la red ferroviaria y relación entre los kilómetros de alta velocidad y la superficie del país 1985, 1991 y 2015



La densidad de la red ferroviaria española no ha cambiado de forma importante en los últimos 30 años y sigue muy por debajo de la media mundial. El peso de las líneas de alta velocidad sí que va creciendo con el paso del tiempo.

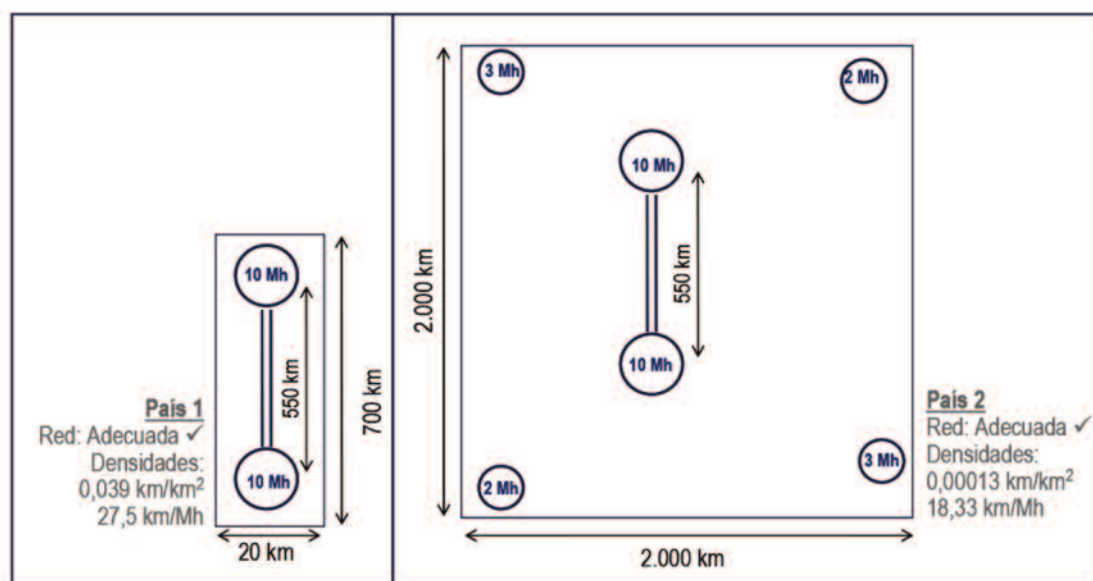
4. Densidad de población y de red como indicador de la adecuación de la red

La densidad de una red, tanto si se calcula en relación con la población como con la superficie, no necesariamente mide la adecuación de la red a los fines que persigue.

Un ejemplo ayudará a entenderlo: imaginemos dos países con una misma red ferroviaria que une, con una línea de alta velocidad, dos ciudades de 10 millones de habitantes cada una situadas a la distancia de 550 km. Esta es una red ferroviaria adecuada para atender la demanda de movilidad, ya que es una distancia idónea para el ferrocarril y la población de las ciudades es suficiente para garantizar un tráfico apreciable, propio del ferrocarril.

Imaginemos que el primer país tiene una superficie reducida, con una anchura de 20 kilómetros alrededor del corredor que une las dos ciudades y una longitud de 700 km. En este caso, la densidad de red es alta, tanto con respecto a superficie como con respecto a la población (0,039 km/km² y 27,5 km/Mhab). En un segundo país tiene una superficie cuadrada de 2.000 km de lado, y en el centro se encuentran las ciudades de 10 millones de habitantes, y en la periferia hay 4 ciudades de 2 o 3 millones de habitantes. Las distancias y los tamaños de estas poblaciones no sugieren la conveniencia de que existan líneas de ferrocarril uniéndolas, y por tanto la red ferroviaria existente entre las dos ciudades de 10 millones sigue siendo adecuada, pero los indicadores de densidad con respecto a la superficie y a la población son muy inferiores a los del otro país.

Figura 8. Supuesto de dos países imaginarios, con una red ferroviaria igualmente adecuada, pero con densidades muy diferentes



Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba que la misma red, siendo en ambos casos adecuada, tiene densidades muy diferentes, lo que pone de relieve que la densidad por si misma no da información suficiente sobre la adecuación de la red.

5. Conclusiones

En suma puede concluirse que:

- La densidad de una red ferroviaria no es por si mismo un indicador completo de la adecuación de una red para atender de forma eficiente las necesidades de movilidad de un país. Debe ser la ferroviaria quien se adapte a las diferentes realidades socioeconómicas y territoriales para prestar un servicio eficaz al conjunto de la población.
- La red ferroviaria española ha tenido siempre una densidad muy baja, tanto en valores absolutos como en comparación con la de otros países. La apertura de nuevas líneas de alta velocidad no ha cambiado la densidad de la red, ya que han venido a reemplazar, en cuanto a longitud total, a líneas convencionales cerradas.

BIBLIOGRAFIA

Albalate, D. y Bel, G. (2015): “Experiencia internacional en alta velocidad ferroviaria”. Ed.: Fedea, documento de trabajo 2015-2.

García Álvarez. A. (2010): “Evolución de la longitud y características de las redes ferroviarias españolas de vía ancha y de alta velocidad en Revista de historia ferroviaria, número 14, diciembre de 2010.

Ministerio de Obras Públicas (1984): “Contrato Programa Renfe Estado 1984-1986”

Renfe, Dirección de Informática (1985): “Mapas 1984”. Biblioteca Ferroviaria, signatura: [IIIF 0535]

Vega Galán, J., Mesa Santos; L.E. y Palacio Vijande, (2015): “Ubicación de la población en el territorio en España y su relación con las distancias de los viajes”; en 360 Revista de Alta Velocidad, número 4, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.