

Javier Campos Méndez
Ginés de Rus Mendoza
Ignacio Barrón de Angoití

El transporte ferroviario de alta velocidad

Una visión económica

El transporte ferroviario de alta velocidad

Una visión económica

Javier Campos Méndez ¹

Ginés de Rus Mendoza ¹

Ignacio Barrón de Angoit ²

¹ *UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA*

² *UNIÓN INTERNACIONAL DE FERROCARRILES (UIC)*

■ Resumen

Tras recopilar información sobre 166 proyectos de alta velocidad ferroviaria en todo el mundo, este documento de trabajo analiza algunas de las cuestiones empíricas más relevantes relacionadas con el desarrollo que ha tenido en los últimos años este nuevo modo de transporte. El estudio comienza discutiendo la definición *económica* de alta velocidad, identificando para ello los diferentes modelos de explotación ferroviaria que existen en la actualidad. A continuación, a partir de los parámetros más representativos de la misma, se realiza una estimación de los costes de la construcción de una línea de alta velocidad ferroviaria. El análisis se extiende posteriormente a los gastos de operación y mantenimiento, así como a los principales costes externos. Finalmente, se estudia la demanda y sus proyecciones futuras, particularmente en el contexto europeo y en el horizonte de 2020.

■ Palabras clave

Transporte por ferrocarril, alta velocidad, costes, demanda.

■ Abstract

After collecting information on 166 high speed rail (HSR) projects across the world, this working paper examines some of the most relevant empirical issues related to the development of this transport mode in recent years. We start by discussing the *economic* definition of HSR, trying to identify different HSR exploitation models. Our next step consists in providing what could be considered a representative cost of building high speed infrastructure. A similar analysis is carried out regarding operating, maintenance and external costs. Finally, we study current demand and its projections, and try to draw some patterns about its future evolution, particularly within Europe and in the 2020 horizon.

■ Key words

Rail transport, high speed, costs, demand.

Al publicar el presente documento de trabajo, la Fundación BBVA no asume responsabilidad alguna sobre su contenido ni sobre la inclusión en el mismo de documentos o información complementaria facilitada por los autores.

The BBVA Foundation's decision to publish this working paper does not imply any responsibility for its content, or for the inclusion therein of any supplementary documents or information facilitated by the authors.

La serie Documentos de Trabajo tiene como objetivo la rápida difusión de los resultados del trabajo de investigación entre los especialistas de esa área, para promover así el intercambio de ideas y el debate académico. Cualquier comentario sobre sus contenidos será bien recibido y debe hacerse llegar directamente a los autores, cuyos datos de contacto aparecen en la *Nota sobre los autores*.

The Working Papers series is intended to disseminate research findings rapidly among specialists in the field concerned, in order to encourage the exchange of ideas and academic debate. Comments on this paper would be welcome and should be sent direct to the authors at the addresses provided in the About the authors section.

Todos los documentos de trabajo están disponibles, de forma gratuita y en formato PDF, en la web de la Fundación BBVA. Si desea una copia impresa, puede solicitarla a través de publicaciones@fbbva.es.

All working papers can be downloaded free of charge in pdf format from the BBVA Foundation website. Print copies can be ordered from publicaciones@fbbva.es.

La serie Documentos de Trabajo, así como información sobre otras publicaciones de la Fundación BBVA, pueden consultarse en:

<http://www.fbbva.es>

The Working Papers series, as well as information on other BBVA Foundation publications, can be found at:

<http://www.fbbva.es>

La base de datos sobre alta velocidad en la que se basa este documento fue facilitada por la International Union of Railways (UIC). Las cifras del cuadro 4.3 sobre costes de operación y mantenimiento de los trenes parecen ser incorrectas y han sido eliminadas hasta que la UIC suministre información actualizada. En los trabajos sobre la rentabilidad social de la inversión en alta velocidad que contiene el informe principal (Economic analysis of High Speed Rail in Europe) no se utiliza dicha información y, por tanto, sus resultados y conclusiones siguen siendo los mismos.

Primera edición: marzo 2009

Segunda edición revisada: junio 2012

El transporte ferroviario de alta velocidad:

Una visión económica

© Javier Campos Méndez, Ginés de Rus Mendoza e Ignacio Barrón de Angoití, 2012

© de esta edición / *of this edition*: Fundación BBVA, 2012

EDITA / PUBLISHED BY
Fundación BBVA, 2012
Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao

Í N D I C E

1. Introducción	5
2. El ferrocarril de alta velocidad: una definición económica	8
3. El coste de construir infraestructura ferroviaria de alta velocidad ..	15
4. El coste de operar servicios ferroviarios de alta velocidad	20
4.1. Costes de mantenimiento de la infraestructura	20
4.2. Costes de operación de los servicios: el material rodante	22
5. Los costes externos del ferrocarril de alta velocidad	25
6. Evolución de la demanda y perspectivas futuras en Europa	29
7. Conclusiones	32
Bibliografía	34
Nota sobre los autores	37

1. Introducción

EL transporte ferroviario de alta velocidad (TAV) está considerado como uno de los avances más significativos que se han desarrollado en el transporte terrestre de pasajeros a partir de la segunda mitad del siglo xx. A comienzos de 2008 existían en operación cerca de 10.000 kilómetros de nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad en todo el mundo, y globalmente, incluyendo las líneas convencionales también utilizadas por el TAV, más de 20.000 kilómetros de la red ferroviaria mundial eran utilizados para suministrar servicios de alta velocidad a un creciente número de viajeros dispuestos a pagar por menores tiempos de viaje y mayor calidad en el transporte por ferrocarril.

Sólo en Japón, donde el concepto de *tren bala* apareció por primera vez en 1964, el TAV ha movido un promedio de 100 millones de pasajeros anuales en los últimos cuarenta años. En Europa, el tráfico medio anual se sitúa en 50 millones de pasajeros, aunque ha crecido de manera constante desde 1981 a una tasa anual del 2,6%. En la actualidad, existen servicios de alta velocidad ferroviaria en más de 15 países de todo el mundo ¹, aunque la red se está expandiendo rápidamente y se espera alcanzar los 25.000 kilómetros de líneas nuevas antes de 2020 (UIC, 2005a).

A pesar de estas cifras, construir, operar y mantener líneas de alta velocidad ferroviaria resulta extremadamente costoso; conlleva una cantidad significativa de costes irrecuperables y puede comprometer de manera sustancial la política de transporte de un país y el desarrollo de este sector durante décadas. Por estas razones, el transporte ferroviario de alta velocidad precisa una visión económica clara y objetiva, capaz de ir más allá de su indudable avance tecnológico y de las aparentemente exitosas cifras de demanda. El principal objetivo de este documento de trabajo es discutir las características económicas más relevantes de este modo de transporte, desarrollando simultáneamente un marco empírico de referencia que nos permita entender con mayor detalle tanto sus costes como su demanda. Este

1. Aunque la definición exacta de qué se considera realmente un *servicio ferroviario de alta velocidad* será discutida con mayor detalle más adelante, la lista de países incluye Japón, Corea del Sur, China, Taiwán, Francia, Alemania, Italia, España, Portugal, Bélgica, Holanda, Noruega, Reino Unido, Suecia, Dinamarca y los Estados Unidos.

análisis resulta particularmente útil en relación con futuros proyectos, ya que permitirá formularlos con un conocimiento más preciso de los costes de construcción y operación que cabe esperar en ellos, así como del número de pasajeros que podrían ser transportados bajo diferentes condiciones económicas y geográficas.

La importancia de este tipo de trabajos es muy elevada, ya que hasta el momento la magnitud de las inversiones en TAV y la relevancia de esta tecnología no han estado en relación con el volumen de estudios económicos vinculados con la misma. La evaluación económica rigurosa de los proyectos de alta velocidad ferroviaria se ha limitado a algunas líneas ya construidas o en proyecto (De Rus e Inglada, 1993, 1997; Levinson et al., 1997; Atkins, 2004; Coto-Millán e Inglada, 2004; De Rus y Román, 2005). Los análisis económicos de carácter general sobre el transporte ferroviario de alta velocidad son relativamente escasos (Nash, 1991; Vickerman, 1997; Martin, 1997; SDG, 2004; De Rus y Nombela, 2007; De Rus y Nash, 2009), si bien existen otras muchas publicaciones centradas en el estudio de los efectos regionales e indirectos del TAV (Bonnafeous, 1987; Vickerman, 1995; Blum, Haynes y Karlsson, 1997; Plassard, 1994; Haynes, 1997; Preston y Wall, 2007).

La mayor parte de los estudios mencionados se basa en casos particulares de proyectos realizados (o planeados) en un solo país. Nuestro enfoque, por el contrario, adopta una perspectiva internacional, buscando la comparación de distintos proyectos entre diferentes países. Para ello, hemos recopilado una base de datos con información sobre todos los proyectos de alta velocidad ferroviaria que existen en el mundo a principios de 2006². Estos datos incluyen información sobre las principales características técnicas y los costes de inversión en cada proyecto —incluso de aquellos que aún se encuentran en fase de planificación o construcción, cuando tal información está disponible—, además de una información detallada en relación con los costes de operación y mantenimiento de las infraestructuras y servicios que ya se encuentran en operación. Hemos añadido un capítulo especial en el que se discuten los costes externos del TAV, así como otro donde se presentan los datos que hay sobre tráfico en determinados corredores³.

2. El análisis realizado en este documento de trabajo y, en particular, los datos de los proyectos de alta velocidad, se basa en información pública proporcionada principalmente por la Union Internationale des Chemins de fer (UIC, 2006) y algunas de las compañías operadoras de servicios TAV.

3. La información por el lado de la demanda (datos de tráfico y precios desagregados) está muy incompleta debido a las dificultades para obtenerla. Esto constituye una de las principales limitaciones actuales de nuestra base de datos.

En general, disponemos de información sobre 166 proyectos en 20 países distintos. Un total de 40 proyectos (24%) se encontraban ya en operación, mientras que 41 estaban en fase de construcción o puesta en funcionamiento y 85 se hallaban aún en la etapa de planificación, y algunos de ellos dependían de aprobación y/o financiación adicional. Los proyectos en operación y construcción incluidos en nuestra base de datos abarcan un total de 16.400 kilómetros, aunque una parte no estará concluida antes de 2015⁴.

El análisis estadístico y los datos obtenidos a partir de la comparación de todos estos proyectos nos permitirán ofrecer una visión económica del transporte ferroviario de alta velocidad en el mundo, al analizar particularmente algunas cuestiones relevantes. La primera de tales cuestiones —que abordaremos en el capítulo 2— se refiere a la definición *económica* de los servicios de TAV. En el capítulo 3 trataremos de calcular cuál es el coste medio de construir un kilómetro de infraestructura de alta velocidad, identificando las razones que pueden hacer que este coste difiera dependiendo de los proyectos. El capítulo 4 está dedicado a extraer de los datos la información más relevante sobre los costes de operación y mantenimiento tanto de la infraestructura como de los servicios de alta velocidad, mientras que en el capítulo 5 se discuten algunas cuestiones relativas a los costes externos del TAV. El capítulo 6 presenta la evolución que ha habido hasta el momento de la demanda de este modo de transporte, y se analizan posibles tendencias futuras, mientras que el capítulo 7 resume las principales conclusiones de todo este análisis.

4. La única base de datos comparable con la nuestra y con una finalidad similar es *The World Bank Railway Database* (disponible en www.worldbank.org). La principal diferencia es que nuestra base de datos se centra exclusivamente en proyectos ferroviarios de alta velocidad.

2. El ferrocarril de alta velocidad: una definición económica

DURANTE muchos años, la *alta velocidad ferroviaria* ha sido un concepto técnico, propio de la industria, que se relacionaba con la velocidad máxima que podían alcanzar los trenes en un determinado corredor, dependiendo de las características del diseño de la infraestructura y de la tecnología utilizada en los vehículos. De hecho, la Directiva 96/48 de la Unión Europea adoptaba implícitamente esta aproximación, definiendo la *infraestructura ferroviaria de alta velocidad* como aquella que incluía alguna de las tres siguientes características ⁵:

- 1) Líneas ferroviarias diseñadas y construidas expresamente para trenes capaces de desarrollar velocidades iguales o superiores a 250 km/h.
- 2) Líneas ferroviarias convencionales, preparadas y reequipadas para trenes cuya velocidad se sitúe en torno a 200 km/h.
- 3) Líneas ferroviarias convencionales preparadas para una mayor velocidad, pero que, por sus especiales circunstancias topográficas o por encontrarse en áreas próximas a núcleos urbanos, su velocidad se reduce.

Como puede observarse, estas definiciones técnicas son lo suficientemente amplias como para abarcar la totalidad de la infraestructura ferroviaria capaz de soportar servicios de alta velocidad. En la práctica, sin embargo, la *velocidad* no es siempre el único indicador que hay que tener en cuenta, ya que existen otros que pueden obligar a los trenes a circular a menor velocidad de la que son capaces de alcanzar. Por ejemplo, cuando se atraviesan áreas densamente pobladas, la normativa de seguridad y de impacto am-

5. El objetivo último de esta Directiva es facilitar la circulación de trenes de alta velocidad a través de las diversas redes ferroviarias nacionales. De esta manera, se solicita a los estados miembros que armonicen sus sistemas de alta velocidad, con el fin de crear una red europea interoperable (Comisión Europea, 1996).

biental (ruidos) puede limitar la velocidad, algo que también ocurre en tramos especiales, como los viaductos o túneles (donde la velocidad máxima se sitúa entre 160-180 km/h) ⁶.

Por otra parte, aunque el ferrocarril de alta velocidad comparte los mismos principios de ingeniería del transporte que sustentan al ferrocarril convencional (ambos se basan en la idea de que la circulación sobre carriles de hierro montados de manera rígida sobre el suelo permite la circulación de vehículos de elevado peso reduciendo al mínimo la fricción y el gasto energético), también existen notables diferencias técnicas entre ellos. Por ejemplo, desde un punto de vista operativo, los sistemas de señalización y guía utilizados por cada uno de ellos difieren completamente: mientras que el tráfico ferroviario convencional aún se controla a través de señales (electrónicas) externas, junto con sistemas automáticos de señalización y control emplazados en las vías, la comunicación entre un tren de alta velocidad y los diferentes tramos por los que circula se realiza de manera interna, a través del equipamiento integrado en la cabina de conducción.

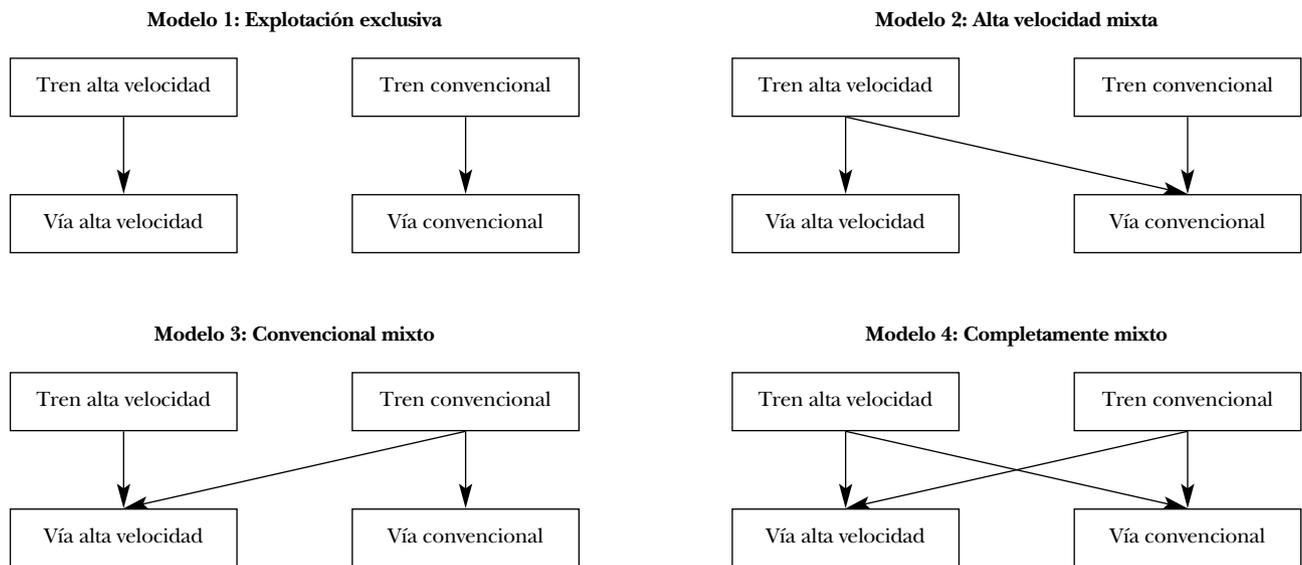
De igual modo, la electrificación es completamente diferente: mientras que la mayoría de las nuevas líneas de transporte ferroviario de alta velocidad (TAV) requieren al menos 25.000 voltios, el ferrocarril convencional opera a un voltaje inferior. También existen otras diferencias significativas en relación con el material rodante y la explotación comercial de los servicios ⁷.

Todas estas distinciones parecen sugerir que, más que la *velocidad*, es la relación que hay entre el TAV y los servicios convencionales, así como la organización del uso de la infraestructura, lo que determina verdaderamente el concepto de *alta velocidad ferroviaria*. De hecho, tal como muestra el esquema 2.1, resulta posible identificar hasta cuatro modelos distintos de explotación de la alta velocidad:

6. En algunos corredores ferroviarios de zonas densamente pobladas del norte de Europa, la velocidad comercial media en muchos servicios (supuestamente) de alta velocidad puede llegar a ser inferior a la velocidad media desarrollada en rutas convencionales que discurren en áreas menos pobladas y que cuentan con una gran distancia de separación entre estaciones. Recientemente (julio de 2007), el operador público francés de líneas de alta velocidad, SNCF, ha anunciado nuevos récords de velocidad punta en ferrocarril (www.sncf.com/news), aunque su aplicación comercial por ahora parece limitada.

7. En los últimos años se ha comenzado a desarrollar una nueva tecnología de transporte terrestre de alta velocidad basada en la levitación magnética (MAGLEV), por medio de la cual los vehículos pueden alcanzar velocidades de hasta 500 km/h. Debido a su alto coste, esta tecnología sólo ha sido implementada hasta ahora en un número muy limitado de pequeños corredores (por ejemplo, en Shanghái). Aunque estos proyectos suelen considerarse dentro del *ferrocarril de alta velocidad*, en realidad sus principios de funcionamiento no responden a la idea del *carril de hierro*, al situarse casi más cerca del transporte aéreo que del terrestre. Debido a su escaso desarrollo comercial hasta el momento no los consideraremos en este estudio.

ESQUEMA 2.1: Modelos de explotación de la alta velocidad ferroviaria



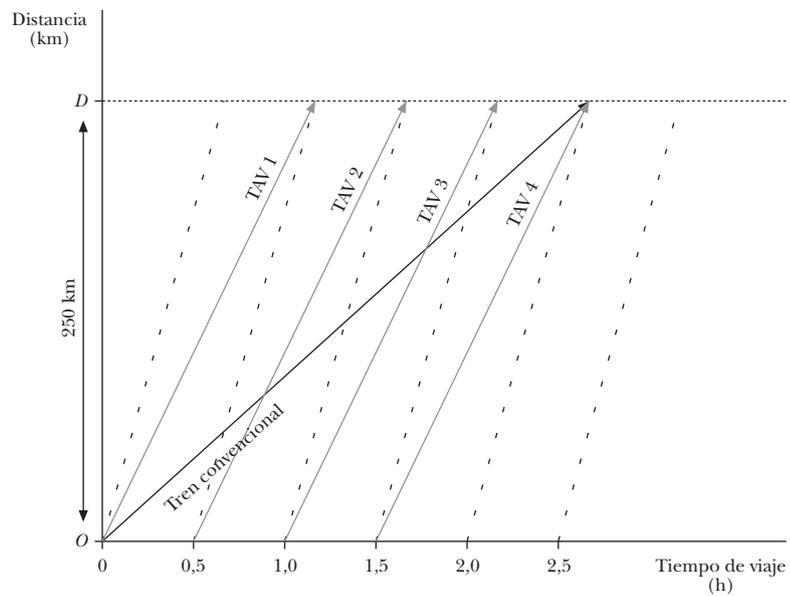
- 1) El *modelo de explotación exclusiva* se caracteriza por una separación completa entre los servicios ferroviarios de alta velocidad y los convencionales, cada uno de los cuales posee su propia infraestructura dedicada. Éste fue el modelo adoptado por el *Shinkansen* en Japón desde 1964, debido principalmente a que las líneas convencionales ya existentes —las cuales habían alcanzado su límite de capacidad— estaban construidas con un ancho de vía estrecho (1,067 m) y a que el ancho de vía necesario para la alta velocidad era de 1,435 metros. Una de las ventajas asociadas a este modelo de explotación es que la organización comercial y administrativa de los servicios puede realizarse también de manera independiente⁸. En el caso de Japón este hecho demostró ser altamente positivo en los años setenta, cuando el operador público (Japan National Railways, JNR) atravesó problemas financieros y algunos servicios ferroviarios tuvieron que ser privatizados.

8. Existen algunas excepciones; algunas líneas japonesas no soportan la alta velocidad debido a que, por sus condiciones particulares, tuvieron que mantenerse con un ancho de vía estrecho. En las zonas más congestionadas de Tokio y Osaka, el *Shinkansen* también debe circular a velocidades inferiores a la máxima, ya que se encuentra limitado por trenes más lentos (v. gráfico 2.1) (Hood, 2006).

- 2) En el *modelo de alta velocidad mixta*, los trenes de alta velocidad circulan bien sobre vías específicamente diseñadas para ellos o bien sobre segmentos mejorados de las líneas ferroviarias convencionales. Esto ocurre por ejemplo en Francia, cuyos TGV (Train à Grande Vitesse) han estado operando desde 1981 principalmente sobre vías nuevas, pero también una parte importante de la red (en las zonas donde no era posible la duplicación) está formada por vías convencionales reelectrificadas. La principal ventaja de este modelo es que los costes de construcción suelen ser mucho menores.
- 3) El *modelo convencional mixto*, en el que algunos trenes convencionales utilizan la infraestructura construida para la alta velocidad, se correspondería con el caso del AVE (Alta Velocidad Española). Al igual que ocurría en Japón, una gran parte de la red ferroviaria española tenía un ancho de vía estrecho, al contrario de lo que sucedía en el resto de países europeos. Esto ya había llevado a desarrollar una tecnología específica de interoperabilidad en el ferrocarril convencional, el Talgo, que venía operando desde 1942. Sin embargo, este tipo de trenes también era capaz de utilizar la infraestructura para alta velocidad (construida en ancho de vía normal)⁹, lo cual generaba ahorros en la adquisición del material rodante y en el mantenimiento e incrementaba las posibilidades comerciales, al poder ofertar, por ejemplo, servicios de *velocidad intermedia (lanzaderas)* en ciertas rutas.
- 4) Finalmente, el *modelo completamente mixto* es el que conlleva una mayor flexibilidad, ya que se corresponde con el caso en el que los trenes de alta velocidad y los convencionales pueden circular indistintamente por cualquier tipo de vía (lógicamente, a sus correspondientes velocidades). Esto ocurre, por ejemplo, en algunos trenes Intercity (ICE) en Alemania o en la línea Roma-Florenia, donde los servicios de alta velocidad utilizan con frecuencia tramos convencionales del mismo modo que los trenes convencionales (principalmente, de carga) utilizan las vías de alta velocidad en los momentos en los que éstas no están ocupadas (por ejemplo, de noche). El precio de este uso más intensivo de la infraestructura es un incremento significativo en los costes de mantenimiento.

9. Las ruedas en las unidades Talgo están montadas a pares y hacia los lados de los vagones, en lugar de debajo de éstos. Al no estar unidas por un eje común, pueden abrirse ligeramente para permitir que el tren se adapte a diferentes anchos de vía.

GRÁFICO 2.1: Pasillos temporales para la provisión de servicios ferroviarios



Las razones por las que cada uno de estos modelos determina de forma diferente la provisión de servicios de alta velocidad están relacionadas con las restricciones de gestión del tráfico ferroviario, las cuales pueden entenderse mejor con ayuda del gráfico 2.1.

En el eje vertical hemos representado la distancia (por ejemplo, 250 km) entre una estación origen (O) y una estación de destino (D), mientras que en el eje horizontal se refleja el tiempo de viaje (en horas). Las líneas de puntos inclinadas significan pasillos temporales (*time slots*) potenciales para trenes directos que vayan desde O hasta D ¹⁰. Obsérvese que la pendiente de los *slots* y la separación horizontal entre ellos está determinada por la velocidad de circulación permitida en el corredor, que depende tanto de las condiciones de trazado (configuración técnica, gradiente, número de curvas, viaductos, etc.) como de la explotación comercial de la misma. Así, por ejemplo, un tren de alta velocidad a una velocidad media de 250 km/h cubriría la distancia $O-D$ en una hora, mientras que un tren convencional (circulando a 100 km/h en promedio) lo haría en 2,5 horas.

10. El gráfico 2.1 es una simplificación de la realidad. Si hubiera paradas intermedias las líneas de puntos *saltarían* a la derecha una distancia proporcional al tiempo de parada. Si el gráfico representase múltiples líneas o hubiese estaciones con múltiples plataformas o *apartaderos*, los trenes más rápidos podrían adelantar a los más lentos, superponiéndose las líneas.

Estas relaciones técnicas hacen que los modelos de explotación descritos en el esquema 2.1 desempeñen un papel muy importante en la definición económica de la alta velocidad ferroviaria. El modelo de *explotación exclusiva* y el de *alta velocidad mixta*, por ejemplo, permiten una utilización más intensiva e incondicionada de la infraestructura TAV, mientras que los otros dos modelos obligan a tener en cuenta que, salvo en los tramos duplicados, los trenes más lentos ocupan durante más tiempo los pasillos temporales. En el gráfico 2.1, al menos cuatro trenes TAV se ven condicionados por cada tren convencional. Puesto que estas diferencias en velocidad afectan a la capacidad de uso de las infraestructuras, la mayoría de los corredores con tráfico mixto suelen reservarse durante el día para trenes de pasajeros de alta velocidad, siendo utilizadas de noche por trenes de carga. En algunos casos, los trenes nocturnos de alta velocidad también pueden utilizar la infraestructura convencional.

Dado que la elección de un modelo particular de explotación ferroviaria dentro de las cuatro opciones anteriores depende, entre otros factores, de la comparación entre los distintos costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura (nuevas líneas frente a líneas convencionales reelectrificadas), la definición de *alta velocidad ferroviaria* se convierte no sólo en una cuestión técnica, sino también económica. Tres factores adicionales intervienen en esta definición:

- 1) El primero es la *especificidad del material rodante*, cuyas características técnicas deben adaptarse a las particularidades de la alta velocidad. Los trenes TAV están diseñados para circular sin locomotora y sin necesidad de enganchar los vagones: ambos extremos del tren pueden actuar como cabecera del mismo. Además, los vagones están configurados de manera que reduzcan al mínimo la oscilación (lo que les permite tomar curvas de alta velocidad radial) y sin necesidad de inclinarse para compensar el empuje de la fuerza centrífuga. La adquisición, operación y mantenimiento de este tipo de vehículos representan una inversión muy relevante a largo plazo (a menudo, más de veinte años) para las compañías ferroviarias.
- 2) El segundo factor relevante es el *elevado grado de apoyo público* del que disfruta la mayor parte de los proyectos de alta velocidad, particularmente en Europa, donde algunos gobiernos han comprometido un importante volumen de inversión en el desarrollo de su red de alta velocidad durante las próximas décadas. A nivel supranacional (Comisión Europea, 2001), existe una estrategia explícita denominada *revitalización del ferrocarril*, concebida dentro de

la política de transporte europea como un «medio para desplazar el actual reparto modal en el transporte a favor del ferrocarril y en contra del dominio existente por parte de la carretera». El argumento que justifica esta estrategia es el menor coste externo del transporte ferroviario (en especial, el TAV), cuando se compara con el automóvil en términos de congestión, seguridad y contaminación.

- 3) El tercer factor es la creciente *demanda* de servicios de alta velocidad en muchos países. Algunos operadores han visto en el segmento de la alta velocidad una oportunidad inmejorable para garantizar la supervivencia del transporte de viajeros por ferrocarril. De hecho, en países como Francia y España, el TAV es a menudo presentado como un modo diferente de transporte, tecnológicamente más avanzado y con ventajas notables en relación con otros modos convencionales (mayor variedad de horarios y servicios, mejoras en los sistemas de reservas y venta de billetes, mayor confort a bordo, etc.), lo cual incrementa el valor añadido que se aporta al pasajero.

Todos estos elementos —costes de construcción, costes de operar y mantener la infraestructura y los servicios, costes externos y demanda— serán analizados con mayor detalle en los siguientes capítulos de este documento de trabajo.

3. El coste de construir infraestructura ferroviaria de alta velocidad

LA construcción de nueva infraestructura de alta velocidad comienza con un proceso de diseño previo del trazado en el que deben estudiarse las condiciones del terreno y cualquier otra restricción que pueda limitar posteriormente la velocidad comercial a valores inferiores a 250-300 km/h. Esto requiere que se tenga una especial consideración a todo tipo de cruces (con carreteras o caminos), la existencia de ríos, barrancos o montañas (que deban ser atravesados con viaductos o túneles), o incluso planificar adecuadamente el número y la ubicación de las estaciones, con el fin de evitar en lo posible una proximidad excesiva a las áreas urbanas. El trazado debe realizarse de manera que las curvas tengan un radio suficientemente amplio, que los tramos rectos tengan la mayor longitud posible y que las intersecciones con la red convencional puedan realizarse de una manera eficiente de acuerdo con lo ya comentado en el capítulo anterior.

A pesar de compartir estos principios generales, no todos los proyectos ferroviarios de alta velocidad se realizan de una misma manera. Al contrario, la necesidad de satisfacer simultáneamente tantas restricciones obliga a tener en cuenta aspectos muy específicos en cada proyecto. Esto hace que cualquier comparación de costes de construcción de una línea férrea de transporte ferroviario de alta velocidad (TAV) resulte un ejercicio altamente subjetivo, pues —además de los aspectos puramente económicos— cada proyecto se ve afectado por las condiciones técnicas, geográficas, e incluso políticas en las que se desenvuelve. Algunas de estas condiciones pueden incluso evolucionar a lo largo del tiempo.

De acuerdo con la Union Internationale des Chemins de fer (UIC, 2005b), de manera general la construcción de una infraestructura nueva de alta velocidad ferroviaria conlleva incurrir en tres grandes partidas de costes:

- 1) *Costes de planificación y preparación del terreno.* Esta partida incluye principalmente los costes de los estudios de viabilidad (técnica y

económica) previos a la ejecución del proyecto y los costes asociados a la adquisición de los terrenos (por ejemplo, expropiaciones), así como los costes administrativos y legales vinculados a los factores anteriores. Por lo general, el importe de esta partida suele representar entre un 5 y un 10% del total de la inversión.

- 2) *Costes de construcción de la infraestructura*, propiamente dichos. Son todos aquellos vinculados a la preparación física del terreno y a la construcción de la plataforma de balasto sobre la que se sitúan posteriormente las vías. Esto incluye la eliminación de todo tipo de obstáculos, movimiento de tierras (rellenos y nivelación), así como obras de drenaje y contención de aguas. El importe de esta partida varía dependiendo de los proyectos, lógicamente en proporción a la longitud de la línea y las características previas del terreno. En general, suele representar como mínimo un 10-25% del volumen total de inversión. Sin embargo, cuando resulta necesario recurrir a obras de ingeniería singulares (puentes, viaductos, túneles, etc.) esta partida puede llegar a suponer entre el 40 y el 50% del coste total del proyecto.
- 3) Los *costes de la superestructura ferroviaria* incluyen el resto de elementos asociados a la tracción por ferrocarril (rieles, traviesas, piezas de sujeción, catenaria, aparatos de electrificación y señalización, instalaciones de comunicaciones, seguridad, bloqueo, etc.). El valor total asociado a todos estos elementos es proporcional a la longitud de la línea y su importe suele representar entre un 5 y un 10% de la inversión total ¹¹.

Aunque estas tres principales partidas de costes están presentes en la construcción de cualquier línea de alta velocidad, su variabilidad está afectada por la naturaleza global del proyecto planteado y su relación con la infraestructura ya existente. De acuerdo con este criterio, resulta posible distinguir cinco tipos diferentes de proyectos (UIC, 2005b):

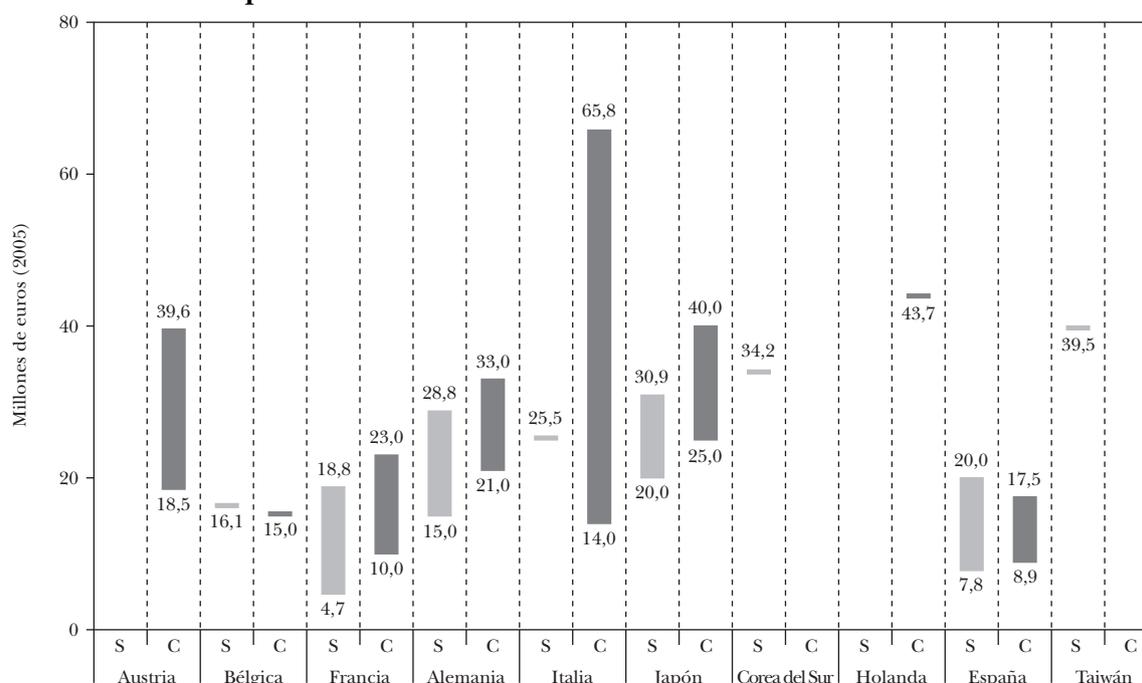
11. En la mayor parte de los proyectos, los costes de la superestructura también incluyen la construcción de andenes, estaciones y apartaderos, así como edificios técnicos auxiliares. Cuando en algún proyecto existe alguna obra o edificio que, por sus características de ingeniería o arquitectónicas, la configuran como una singularidad relevante, sus costes suelen tratarse de forma separada, y no se incluyen en el proyecto TAV. Esto ocurre con puentes o túneles (como el Eurotúnel bajo el Canal de la Mancha) que, a pesar de su carácter ferroviario, tienen entidad propia, o con estaciones dotadas de interés arquitectónico. Finalmente, también existen otros costes de construcción —de supervisión del proyecto, control de calidad, etc.— que suelen incluirse en alguna de las tres partidas mencionadas, representando por lo general el 1-5% del total.

- 1) *Grandes corredores aislados de otras líneas de alta velocidad*, como el AVE Madrid-Sevilla o el TGV París-Lyon.
- 2) *Grandes corredores integrados en una red de alta velocidad*, como el AVE Madrid-Barcelona (integrado con el Madrid-Sevilla) o París-Lille (integrado con París-Lyon y la red francesa de alta velocidad).
- 3) *Extensiones menores a corredores ya existentes*, como la línea Madrid-Toledo o Lyon-Valence, ambas desarrolladas para servir a ciudades de tamaño medio próximas al corredor primario.
- 4) *Grandes proyectos singulares*, como el Eurotúnel entre Francia y Gran Bretaña, el Grand Belt en Dinamarca, o el proyecto para construir un puente sobre el Estrecho de Mesina, en el sur de Italia.
- 5) *Pequeños proyectos complementarios* para mejorar la red convencional, como aquellos específicamente diseñados para conectar ciudades con sus aeropuertos a velocidades mayores, o las obras de mejora en tramos de la red convencional con el fin de acomodarlos a la alta velocidad (tal como se ha realizado en Alemania e Italia).

Nuestra base de datos incluye información sobre 166 proyectos enmarcados en alguna de las cinco categorías anteriores. Sin embargo, las comparaciones de costes que hemos realizado utilizan únicamente los datos completos de 45 proyectos. Por razones de homogeneidad, en la muestra hemos excluido tanto los que podían ser considerados como *grandes proyectos singulares*, como los *pequeños proyectos complementarios*. También hemos excluido de la comparación los proyectos cuya información financiera no fuese completa y todos aquellos que estuviesen en la fase de planeamiento: a pesar de que sobre algunos de ellos poseíamos bastante información, ésta no podía considerarse lo suficientemente fiable, ya que el riesgo de desviación de costes en las grandes obras de infraestructura es siempre muy alto (Flyvbjerg, Skamris y Buhl, 2004).

La gráfica 3.1 refleja el coste medio de construcción de un kilómetro de línea de alta velocidad ferroviaria entre distintos países, según nuestra base de datos. Todos los valores monetarios están expresados en euros del año 2005, e incluyen los costes de infraestructura y superestructura, pero no los de planificación y preparación del terreno. En general, el coste medio por kilómetro en el conjunto de los 45 proyectos considerados oscila entre 6 y 45 millones, con un valor promedio situado en torno a los 17,5 millones de euros. Si el análisis se limita a los proyectos en servicio (24 proyectos), el rango está entre 9 y 39 millones, con un valor medio de 18 millones de euros por kilómetro. Con la excepción de China, parece que construir alta

GRÁFICO 3.1: Coste medio por kilómetro de la infraestructura de alta velocidad



Notas:

- S: Líneas en servicio;
- C: Líneas en construcción (2006).
- Los costes representados excluyen los costes de planificación y preparación del terreno.

Fuente: Base de datos propia. Elaborada a partir de UIC (2005b).

velocidad en Asia (Japón, Corea del Sur y Taiwán) resulta mucho más costoso que en Europa, si bien los datos de estos dos últimos países incluyen proyectos en los que la construcción de las nuevas líneas está mezclada con la mejora de líneas convencionales ¹².

En Europa, pueden distinguirse dos grupos de países: Francia y España tienen costes de construcción ligeramente inferiores a los de Alemania, Italia o Bélgica. Esto se explica no sólo por razones de similitud orográfica y por la existencia de una menor concentración de la población fuera de las grandes ciudades, sino también por algunas diferencias en los procedimientos de construcción. En Francia, por ejemplo, se intenta minimizar los cos-

12. Estos resultados son consistentes, desde un punto de vista cualitativo, con la comparación realizada por SDG (2004), aunque algunas partidas individuales de costes incluidas en UIC (2005b) son diferentes. Algunos proyectos individuales mencionados en SDG (2004) —como el HSL Zuid (Holanda) y el Eurotúnel— tienen costes de construcción por kilómetro más elevados, en el rango de los 50-70 millones de euros.

tes de construcción incrementando la pendiente media, en lugar de construir un número excesivo de túneles o viaductos. Dado que las líneas de alta velocidad francesas están destinadas solamente a pasajeros (de acuerdo con el modelo de *explotación exclusiva* del esquema 2.1), suelen emplearse pendientes de hasta 3,5% (en lugar de entre 1 y 1,5%, que es lo habitual cuando existe tráfico convencional). El diseño de tramos más rectos obliga a incurrir en costes de adquisición más elevados, pero esto se compensa con la ulterior reducción en costes de operación y mantenimiento. En otros países, donde no se aplican estos conceptos de *economía de espacios* y donde la densidad de población es más elevada, los costes de construcción suelen ser mayores.

Por último, con respecto a los proyectos que actualmente están en construcción (21 proyectos, algunos de los cuales se esperaba que concluyeran a lo largo de 2007), en la mayoría de los casos presentan costes de construcción similares a los de los proyectos en operación¹³. Resulta interesante destacar que no parece existir evidencia de *economías de experiencia*, particularmente en Japón y Francia, los países con una historia más larga en proyectos TAV. Sin embargo, las comparaciones en este sentido no son muy homogéneas, debido a los avances tecnológicos y a la propia especificidad de cada proyecto.

En Japón, el coste de construcción por kilómetro (excluyendo los costes de planificación y preparación del terreno) en la línea entre Tokio y Osaka (que se comenzó a construir en 1961) fue relativamente bajo (5,4 millones de euros en valores de 2005), pero en los proyectos realizados en los años posteriores este valor se triplicó o cuadruplicó. En Francia, cada kilómetro del TGV Sud-Est entre París y Lyon (inaugurado en 1981) requirió una inversión de 4,7 millones de euros (sólo en costes de construcción), mientras que para el TGV Méditerranée, inaugurado en 2001, la cifra equivalente fue 12,9 millones. La existencia de estas diferencias dentro de un mismo país resalta el hecho de que la comparabilidad de los costes de construcción entre proyectos está muy condicionada por las características específicas de cada uno de ellos. A pesar de ello, los datos que presentamos en este capítulo pueden tomarse como punto de partida para futuras comparaciones.

13. La excepción más destacada en el gráfico 3.1 es Italia. Esto se debe a que las líneas en construcción están situadas principalmente en el norte del país, más densamente poblado.

4. El coste de operar servicios ferroviarios de alta velocidad

UNA vez que se ha construido la infraestructura, la prestación de los servicios ferroviarios de alta velocidad conlleva dos tipos principales de costes: los relacionados con el mantenimiento de dicha infraestructura y los asociados a la provisión de los servicios. Aunque nuestra base de datos incluye información detallada sobre la mayoría de estos elementos, no analizaremos de manera particular la relación vertical existente entre el operador que presta los servicios y el que gestiona la infraestructura (los cuales coinciden, en algunos casos), ni estudiaremos las tarifas asociadas al uso de las infraestructuras, ya que éstas son objeto de un análisis específico en otros trabajos ¹⁴. En Europa, la Directiva 91/440 estableció como obligatoria la necesidad de desintegrar verticalmente la gestión de la infraestructura de los servicios (aunque sin imponer necesariamente su separación en distintas empresas ni, mucho menos, su privatización). Fuera de Europa muchos países continúan con el modelo de integración vertical, en el que toda la actividad ferroviaria de alta velocidad (incluyendo la gestión de la infraestructura) es realizada por una sola entidad ¹⁵.

4.1. Costes de mantenimiento de la infraestructura

Esta categoría incluye los costes laborales del personal de mantenimiento, los materiales y repuestos, así como la energía consumida en este tipo de tareas, cuyo objetivo es garantizar un perfecto estado de funcionamiento de

14. En este capítulo nos centraremos exclusivamente en los costes *privados* de mantenimiento a los que se enfrentan los gestores de la infraestructura ferroviaria, y en los costes vinculados al material rodante para los operadores de los servicios. En el capítulo 5 se analizarán específicamente los costes externos del ferrocarril de alta velocidad.

15. En los países en los que existe desintegración vertical entre la infraestructura y los servicios (incluso a través de entidades diferenciadas), las tasas de acceso representan un coste operativo adicional para los operadores de servicios, pero en el fondo se trata de una mera transferencia interna de fondos cuando se las considera desde el punto de vista del transporte ferroviario en su conjunto. En Gómez-Ibáñez y De Rus (2006) se discuten distintas opciones para organizar el transporte ferroviario en relación con esta cuestión.

toda la infraestructura, incluyendo las vías, las estaciones y los sistemas auxiliares. Una parte relevante de estos costes de mantenimiento es fija, pues depende de programas rutinarios que se realizan de forma periódica e independientemente del volumen de tráfico, con el fin de mantener los estándares prefijados del nivel de servicio y seguridad. Otra parte de los gastos de mantenimiento (especialmente la que se refiere a las vías, a los sistemas de electrificación y señalización) sí está afectada por la intensidad de uso (por ejemplo, número de trenes diarios), aunque también las inclemencias del tiempo y los fenómenos naturales (lluvias, fuegos, tormentas, etc.) pueden condicionarlos. De acuerdo con las estadísticas de la Union Internationale des Chemins de fer (UIC, 2006), la proporción de los costes laborales dentro del total de costes se sitúa alrededor del 55% del mantenimiento de los sistemas de tracción eléctrica, en el 45% en el caso del mantenimiento de vías, y en el 50% en el mantenimiento del resto de equipos.

Como muestra el cuadro 4.1, nuestra base de datos nos proporciona información agregada sobre costes de mantenimiento para cinco países europeos (Bélgica, Francia, Italia, Holanda y España), los cuales pueden desagregarse en cinco categorías principales (mantenimiento de vías, electrificación, señalización, telecomunicaciones y otros) ¹⁶.

CUADRO 4.1: Costes de mantenimiento de la infraestructura por países

	Bélgica		Francia		Italia		España	
	Porcentajes		Porcentajes		Porcentajes		Porcentajes	
Kilómetros de vía simple	142		2.638		492		949	
Mantenimiento de vías	13.841	43,7	19.140	67,3	5.941	46,0	13.531	40,4
Electrificación	2.576	8,1	4.210	14,8	2.455	19,0	2.986	8,9
Señalización	3.248	10,3	5.070	17,8	4.522	35,0	8.654	25,9
Telecomunicaciones	1.197	3,8	—	—	—	—	5.637	16,8
Otros costes	10.821	34,2	—	—	—	—	2.650	7,9
Coste total de mantenimiento	31.683	100	28.420	100	12.919	100	33.457	100

Nota: Los costes están expresados en euros de 2002 por kilómetro de vía simple.

Fuente: Elaborado a partir de UIC (2005b).

En general, el mantenimiento de las infraestructuras y vías representa entre un 40 y un 67% de los costes totales de mantenimiento (tanto en alta

16. Nótese, sin embargo, que la comparabilidad de los datos puede estar limitada por otros factores cuya homogeneización resulta más difícil (como el índice de fiabilidad requerido, los intervalos de inspección, las características del trazado, la carga media de los trenes, etc.).

velocidad como convencional), mientras que los costes de señalización varían entre un 10 y un 35% del total en alta velocidad y entre un 15 y un 45% en las líneas convencionales. Los costes de electrificación y otros mantienen unas participaciones más pequeñas, aunque similares en ambos tipos de vías.

El cuadro anterior muestra que el coste de mantenimiento de una línea de alta velocidad puede estimarse entre 28.000 y 33.000 euros por kilómetro (en valores de 2002), por lo que tomando 30.000 euros como promedio, el coste total de mantenimiento de una línea de 500 kilómetros estaría alrededor de los 30 millones de euros por año.

4.2. Costes de operación de los servicios: el material rodante

El funcionamiento operativo del material rodante conlleva cuatro tipos principales de costes: enganche y operación de los trenes (principalmente, costes laborales de la tripulación y del personal encargado de gestionar la circulación), mantenimiento del material rodante y resto de equipos auxiliares, gastos de energía, y costes administrativos y asociados a la comercialización de los servicios. Este último componente varía mucho entre los operadores y resulta difícil desagregarlo por líneas o proyectos; depende del volumen de tráfico, e incluye el personal de ventas, administración y comercialización, los gastos promocionales, etc.¹⁷. El resto de partidas están muy condicionadas por la tecnología de los trenes.

En Europa, cada país ha desarrollado sus propias especificidades tecnológicas, adaptando a éstas las distintas maquinarias construidas por los fabricantes. Francia, por ejemplo, utiliza el tipo de tren denominado TGV Réseau para su red nacional y el Thalys para servicios con Bélgica, Holanda y Alemania, aunque en 1996 introdujo el TGV duplex, con doble capacidad. En Italia, la referencia es el ETR-500 y el ETR-480, mientras que en España se emplea el modelo denominado AVE. Finalmente, en Alemania hay hasta cinco variantes diferentes de trenes Intercity: ICE-1, ICE-2, ICE-3, ICE-3 Polycourant e ICE-T.

Aunque cada uno de estos modelos posee unas características técnicas diferenciadas (en términos de longitud, composición, masa, peso, potencia, tracción, oscilación, etc.), el cuadro 4.2 resume las dos características más

17. Aunque no disponemos de información desagregada sobre este ítem, en muchos proyectos se estima como un 10% de la cifra de ventas.

CUADRO 4.2: Tecnología de alta velocidad en Europa: tipos de tren

País	Tipo de tren	Fecha de primer servicio	Capacidad (asientos)	Distancia media (km)	Capacidad (asientos-km anuales)	Velocidad máxima (km/h)	Precio de compra estimado (euros/asiento)
Francia	TGV Réseau	1992	377	495.000	186.615	300/320	
	TGV Duplex	1997	510	525.000	267.750	300/320	33.000
	THALYS *	1996	377	445.000	167.765	300/320	
Alemania	ICE-1	1990	627	500.000	313.500	280	
	ICE-2	1996	368	400.000	147.200	280	
	ICE-3	2001	415	420.000	174.300	330	65.000
	ICE 3 Polyc.	2001	404	420.000	169.680	330	
	ICE/T	1999	357	360.000	128.520	230	
Italia	ETR 500	1996	590	360.000	212.400	300	37.000
	R 480	1997	480	288.000	138.240	250	42.300
España	AVE	1992	329	470.000	154.630	300	—

* THALYS presta servicios entre Francia, Bélgica, Holanda y Alemania.

Fuente: Base de datos propia.

relevantes desde el punto de vista económico, capacidad y velocidad, así como su coste estimado de adquisición por asiento. Además de la tecnología, los costes de operación del material rodante pueden verse afectados por factores como la longitud de la ruta o los requerimientos que hay sobre la tripulación mínima (que, por lo general, son escasos y varían entre países) ¹⁸.

Finalmente, los costes totales asociados al consumo de energía pueden calcularse a partir del consumo medio por kilómetro (que es un factor técnico asociado al tipo de tren) y la distancia recorrida anualmente. Levinson et al. (1997) señalan que el consumo energético por pasajero se incrementa rápidamente con la velocidad, lo cual puede suponer una desventaja para el transporte a alta velocidad. Otro factor que hay que considerar es cuál es el precio de la energía en su fuente y de qué forma se tarifica al operador. En nuestra base de datos, los costes energéticos del ferrocarril son un 5% más bajos en Francia y Alemania, no sólo debido a su origen (nuclear, en Francia), sino también porque es adquirida directamente por el operador (Alemania), en lugar de ser abonada al operador de la infraestructura.

18. Por ejemplo, en Francia, operar y conducir los trenes de las rutas TGV Sud-Est y Atlantique TGV requiere dos auxiliares y un conductor por tren (en ocasiones se enganchan dos trenes). Esta configuración varía entre líneas y en otros países.

CUADRO 4.3: Comparación de costes de operación y mantenimiento por tecnología

País	Tipo de tren	Costes operativos (euros)*			Costes de mantenimiento (euros)		
		Por tren en millones	Por asiento	Por asiento (km)	Por tren (en millones)	Por asiento	Por asiento (km)
Francia	TGV Réseau	—	—	—	1,6	4.244	0,008
	TGV Duplex	—	—	—	1,6	3.137	0,005
	THALYS**	—	—	—	1,9	5.039	0,011
Alemania	ICE-1	—	—	—	3,1	4.944	0,009
	ICE-2	—	—	—	1,4	3.804	0,009
	ICE-3	—	—	—	1,6	3.855	0,009
	ICE 3 Polyc.	—	—	—	1,7	4.207	0,010
	ICE/T	—	—	—	1,8	5.052	0,014
Italia	ETR 500	—	—	—	4,0	6.779	0,018
	ETR 480	—	—	—	3,2	6.666	0,023
España	AVE	—	—	—	2,9	8.814	0,018

* Pendiente de revisión por la UIC.

** THALYS presta servicios entre Francia, Bélgica, Holanda y Alemania.

Fuente: Base de datos propia. Elaborada a partir de UIC (2005b). Valores de 2002.

5. Los costes externos del ferrocarril de alta velocidad

EL impacto medioambiental del ferrocarril de alta velocidad no es nulo. Tanto la construcción de las infraestructuras como la operación de servicios de transportes de alta velocidad (TAV) generan impactos negativos, bien sobre el territorio, a través de efectos barrera o de intrusión visual, o mediante la generación de ruido o contaminación en la producción de energía en origen. Desafortunadamente, nuestra base de datos no recoge información suficiente sobre ninguna de estas variables, por lo que la discusión que se plantea en este epígrafe se basa en otras fuentes, de carácter más agregado.

Una de las cuestiones clave en relación con los costes medioambientales se refiere a la comparación con otros modos de transporte. Dado que el ferrocarril genera mejores resultados comparativos, en tanto en cuanto el precio no sea igual al coste marginal social en otros modos de transporte, cualquier desviación de tráfico desde la carretera o el transporte aéreo producirá un incremento en la eficiencia del sistema de transporte.

Con relación a la contaminación, puede resultar extraño vincularla al transporte ferroviario moderno, en el que la tracción se realiza mediante unidades movidas por energía eléctrica. Sin embargo, no debe olvidarse que la producción de tal electricidad se realiza normalmente con fuentes de energía contaminantes, por lo que habría que asignar al ferrocarril la parte proporcional de emisión de gases correspondiente. Muchos estudios parecen ignorar este hecho y asumen que el nivel de polución generado por el tren es cero. A pesar de esto, debe reconocerse que —comparado con otros modos de transporte y en relación con el número de pasajeros transportados— el volumen de emisión de gases contaminantes asociado al ferrocarril (especialmente, el de alta velocidad) es mucho menor. Así por ejemplo, de acuerdo con el estudio INFRAS/IWW (2000), la cantidad de energía primaria consumida por el transporte ferroviario de alta velocidad (medida en términos de litros de petróleo por cada 100 pasajeros/km, para facilitar las comparaciones) puede situarse en 2,5; las cifras equivalentes para el automóvil privado y el avión son de 6 y 7 litros, respectivamente. Igualmente, el

volumen de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera por cada 100 pasajeros/km era de 17 toneladas en el caso del transporte aéreo, 14 para los automóviles privados y sólo 4 para el TAV ¹⁹.

Con respecto a la contaminación acústica producida por el ferrocarril, la comparación con otros modos resulta menos brillante, aunque todavía favorable al tren de alta velocidad. El ruido que genera un tren al circular depende generalmente de las características de la vía, de la tecnología de tracción utilizada y del grado de fricción aerodinámica. Aunque el impacto sonoro producido en cada punto es relativamente breve, éste es proporcional a la velocidad de circulación y constituye una molestia relevante en la proximidad de estaciones, intercambiadores y otras zonas de alta densidad de tráfico. La contaminación acústica se mide habitualmente en decibelios, dB(A), y algunas de las mediciones realizadas en corredores de alta velocidad han alcanzado valores de hasta 80-90 dB(A), lo cual resulta molesto cuando está cerca de áreas habitadas. Levinson et al. (1997) estiman que, para mantener un volumen de ruido aceptable (en el rango de 55dB[A]) en dichas áreas a una velocidad de 280 km/h, resultaría necesario construir un *pasillo ferroviario* con una anchura de 150 metros.

Esta distancia es relevante, porque este efecto ha sido omitido tradicionalmente en los cálculos de ocupación del territorio del ferrocarril, los cuales suelen subestimarse en comparación con otros modos, como las autopistas. Como ejemplo puede considerarse el hecho de que en Francia los residentes en muchos pueblos y ciudades pequeñas hayan presionado abiertamente durante la construcción de las líneas del tren de alta velocidad para incrementar la anchura de los pasillos acústicos laterales y para protegerlos con paneles de insonorización.

En lo que respecta a la seguridad, cualquier comparación de estadísticas de accidentes y mortalidad entre diferentes modos de transporte confirma inmediatamente un hecho conocido: el transporte por ferrocarril (incluido el de alta velocidad) junto con el transporte aéreo son los modos de transporte de viajeros más seguros en términos del número de muertes por millón de pasajeros/km transportados. En el caso del TAV, las consideraciones relativas a seguridad son muy importantes desde la propia fase del diseño de cualquier proyecto, ya que un accidente ferroviario a velocidad elevada puede tener consecuencias muy graves. Estas consideraciones afectan

19. Hasta el momento no existe ningún estudio detallado sobre las implicaciones medioambientales del intensivo uso de la energía eléctrica de origen nuclear en los sistemas ferroviarios de algunos países (la cual supone entre un 30 y un 90% del total en países como Japón, Francia o Alemania).

tanto al diseño del trazado como a los mecanismos auxiliares de seguridad y bloqueo, lo cual se traduce en ocasiones en costes de construcción y mantenimiento más elevados.

Finalmente, existen otros costes externos del ferrocarril —como la alteración del paisaje a través de *efectos-barrera* o la intrusión visual— cuyo análisis y cuantificación resulta muy difícil. Cuando este tipo de costes se consideran explícitamente en algún proyecto, se les suele incluir en los costes de construcción, dentro de los epígrafes relacionados con los movimientos del terreno. Aunque es improbable que incluso con una contabilización adecuada de estos costes la posición relativa del ferrocarril de alta velocidad con relación a los importes externos se vea excesivamente perjudicada, su conocimiento puede conducir a un mejor entendimiento de los costes sociales que implican este modo de transporte.

La preocupación sobre los efectos externos del ferrocarril está mucho menos extendida que con relación a otros modos. De hecho, las primeras protestas en contra de la construcción de una línea de alta velocidad no aparecieron hasta mayo de 1990, durante la fase de planificación del TGV Méditerranée en Francia. Los críticos con el plan llegaron a bloquear incluso un viaducto, argumentando que la nueva línea sólo beneficiaba a quienes viajasen por motivos de negocio y proponiendo que los trenes utilizaran la infraestructura ya existente. De forma similar, también hubo protestas relevantes en Italia en contra de la línea Lyon-Turín, y algunas corrientes muy críticas han aparecido en Estados Unidos y Reino Unido, países menos desarrollados en el ámbito de la alta velocidad ferroviaria.

El cuadro 5.1 muestra una comparación entre los costes marginales sociales de modos de transporte alternativos en dos corredores europeos. Estos costes incluyen accidentes, ruido, contaminación ambiental, cambio climático y efectos urbanos, aunque no los relacionados con la congestión o la escasez de capacidad. El ferrocarril de alta velocidad entre París y Bruselas tiene unos gastos externos equivalentes a una cuarta parte de los

CUADRO 5.1: Comparación de costes externos entre modos en dos corredores

	París-Viena	París-Bruselas
Automóvil	40,2	43,6
Ferrocarril	11,7	10,4
Avión	28,7	47,5

Nota: Datos en euros por 1.000 pasajeros/km.

Fuente: INFRAS/IWW (2000).

correspondientes al coche o al avión. El elevado factor de ocupación con el que se opera en este corredor implica que el ferrocarril de alta velocidad no lo hace peor que el ferrocarril convencional en la ruta París-Viena, que es más larga. De hecho, a medida que la distancia aumenta la ventaja relativa del ferrocarril desaparece en comparación con el transporte aéreo, ya que la mayor parte de los costes externos de este modo se concentran en las fases de despegue y aterrizaje.

6. Evolución de la demanda y perspectivas futuras en Europa

DESDE el mismo momento en que comenzaron a operar comercialmente, a principios de los años setenta, los proyectos de alta velocidad ferroviaria han sido siempre presentados como un éxito absoluto en términos de demanda e ingresos. Muchos operadores ferroviarios, tal como se ha señalado, vieron en este segmento una oportunidad única para revitalizar el transporte de viajeros por ferrocarril, el cual había entrado en crisis como consecuencia de la pérdida de atractivo frente al automóvil privado y el transporte aéreo en una sociedad con mayores niveles de renta per cápita. En Francia y España, por ejemplo, los servicios de alta velocidad son las unidades de negocio más rentables para los operadores públicos, permitiéndoles recuperar con ellos sus costes operativos (aunque no los de infraestructura).

Las cifras positivas en la demanda del transporte ferroviario de alta velocidad son difícilmente criticables ²⁰. Hasta el año 2005, las líneas pioneras del *Shinkansen* japonés habían acumulado un total de casi 150.000 millones de pasajeros/km transportados; en Corea del Sur, los servicios de alta velocidad comenzaron a operar en 2004 y en sólo dos años ya habían superado las cifras del transporte aéreo doméstico, ganando más de 40 millones de pasajeros por año.

Con respecto a Europa, en el año 2005 se alcanzó una cifra acumulada de 76.000 millones de pasajeros/km, debido fundamentalmente a que en el período 1994-2004 la tasa media de crecimiento anual fue del 15,6% (con dos dígitos en los primeros años y cifras algo menores en los siguientes) ²¹.

20. Tal como se ha mencionado en otras partes de este documento de trabajo, la información relativa a la demanda en nuestra base de datos es bastante limitada, por lo que, al igual que en el caso de los costes externos, nuestra discusión se basa en otras fuentes, más agregadas.

21. Esta cifra debe compararse con una tasa media de crecimiento del 1 y 3% en el transporte ferroviario convencional durante el mismo período.

CUADRO 6.1: Evolución del tráfico de alta velocidad ferroviaria en Europa

	Francia		Alemania		Italia		España		Otros		Europa	
	Pasajeros/ km	Porcentaje cambio										
1994	21,9	—	8,2	—	0,8	—	0,9	—	0,3	—	32,1	—
1995	21,4	-2,3	8,7	6,1	1,1	37,5	1,2	33,3	0,4	33,3	32,8	2,2
1996	24,8	15,9	8,9	2,3	1,3	18,2	1,3	8,3	1,4	250,0	37,7	14,9
1997	27,2	9,7	9,3	4,5	2,4	84,6	1,5	15,4	2	42,9	42,4	12,5
1998	30,6	12,5	10,2	9,7	3,6	50,0	1,5	0,0	2,7	35,0	48,6	14,6
1999	32,2	5,2	11,6	13,7	4,4	22,2	1,7	13,3	2,8	3,7	52,7	8,4
2000	34,7	7,8	13,9	19,8	5,1	15,9	2,2	29,4	3,5	25,0	59,4	12,7
2001	37,4	7,8	15,5	11,5	6,8	33,3	2,4	9,1	3,8	8,6	65,9	10,9
2002	39,9	6,7	15,3	-1,3	7,1	4,4	2,5	4,2	4	5,3	68,8	4,4
2003	39,6	-0,8	17,5	14,4	7,4	4,7	2,5	0,0	4,1	2,5	71,1	3,4
2004	41,5	4,9	19,6	12,0	7,9	6,6	2,8	9,9	4,1	0,0	75,9	6,8

Nota: Los datos de pasajeros/km están expresados en miles de millones.

Fuente: Base de datos. Elaborado a partir de UIC (2005b) e información de las empresas.

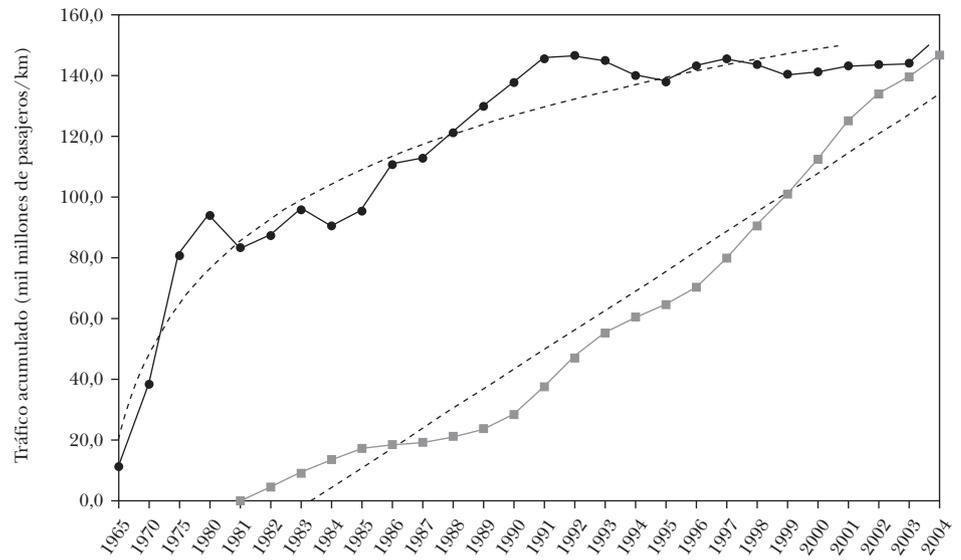
Junto con los factores tradicionales que explican la demanda (precios, calidad del servicio y renta de los viajeros), estas elevadas tasas de crecimiento también han estado asociadas a la rápida expansión de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad en Europa, todo lo cual ha permitido que este modo de transporte haya podido obtener en algunos corredores hasta el 40% de la cuota de mercado ²².

El cuadro 6.1 resume por países el tráfico de alta velocidad en Europa entre 1994 y 2004. Aunque la información contenida en él no puede interpretarse en términos de la evolución de la demanda esperada (ya que la red ha estado en continuo crecimiento durante ese período) sí muestra una sólida tendencia general creciente durante este tiempo de expansión.

En el gráfico 6.1 se obtiene una perspectiva más completa de esta evolución, al comparar las cifras europeas con las de Asia, donde se muestra la posible existencia de una especie de *efecto de madurez* común a otros productos y servicios. La demanda de los servicios de alta velocidad japoneses comenzó a mediados de los años sesenta y aumentó rápidamente durante sus primeros veinte años de existencia (casi 100.000 millones de pasajeros/km),

22. Por ejemplo, en el corredor París-Londres, el servicio del Eurostar ha alcanzado un 70% de la cuota de mercado rail/aéreo.

GRÁFICO 6.1: Evolución del tráfico acumulado: Asia versus Europa



Nota: Las líneas superiores corresponden a Asia; las inferiores, a Europa.

Fuente: Base de datos propia. Elaborada a partir de UIC (2005b) y de las compañías.

reduciendo su crecimiento a casi la mitad a partir de ese momento. Esta tendencia (representada en el gráfico por la línea discontinua) podría trasladarse próximamente a Europa. La planificación de futuras líneas de alta velocidad debería considerar este fenómeno.

7. Conclusiones

ESTE documento de trabajo debe ser considerado como un intento de identificar empíricamente algunas de las características económicas más relevantes del ferrocarril de alta velocidad. Para ello se ha construido y analizado una exhaustiva base de datos que incluye información técnica y económica de todos los proyectos de alta velocidad que había en todo el mundo a principios de 2006. Hemos contado con información sobre un total de 166 proyectos de alta velocidad ferroviaria en 20 países distintos; de ellos, 40 (24%) ya se encuentran en servicio, mientras que 41 están en fase de construcción. Los restantes 85 se encuentran en proceso de planeamiento, con distintas posibilidades de llevarse a cabo, pendientes de recibir la autorización o financiación definitiva.

Tras recopilar toda esta información, y como paso previo a su análisis, este estudio ha comenzado discutiendo cuál es la definición *económica* de alta velocidad. Hemos argumentado que no se trata de un concepto meramente técnico —relacionado exclusivamente con la velocidad a la que se prestan los servicios—, sino que depende crucialmente del modelo de explotación de la red ferroviaria (convencional y de alta velocidad) elegida en cada caso. A partir de aquí hemos analizado las distintas partidas de costes de un proyecto típico de alta velocidad, poniéndolo en relación siempre con los datos de nuestra base. Por ejemplo, hemos empezado por el coste medio de construcción de un kilómetro de vía de alta velocidad (excluyendo los costes de planeamiento y preparación del terreno). Nuestro análisis ha tratado de identificar las fuentes de su variabilidad, y lo han situado globalmente entre 6 y 45 millones de euros (de 2005), y entre 9 y 39 millones, cuando el análisis se limita a proyectos ya operativos.

Un análisis similar ha sido realizado en relación con los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura (por país) y los servicios (por tipo de tren), con el fin de obtener una estimación empírica de los mismos. Los resultados cambian entre proyectos y oscilan entre 28.000 y 33.000 euros (del año 2000) por kilómetro de vía simple. Si se excluyen los casos más extremos puede considerarse que el coste de mantenimiento anual de una línea de alta velocidad de 500 km se sitúa alrededor de 30 millones por año.

Con relación a los costes sociales, debido a que la información desagregada por proyecto es muy limitada, nuestro análisis se ha basado también en otras fuentes. En general, el transporte por ferrocarril de alta velocidad obtiene buenos resultados en la comparación con otros modos de transporte en cuanto a la polución o la contribución al calentamiento global, pero el resultado depende de cuál sea la fuente primaria de energía que se utilice para generar la electricidad del TAV. Con respecto a la contaminación acústica, su relevancia aumenta con la densidad poblacional de las áreas afectadas.

El transporte por ferrocarril de alta velocidad es uno de los modos de transporte más seguros en términos de víctimas por millón de pasajeros/km, aunque una parte de la reducción de costes por accidentes se internaliza en forma de mayores costes de construcción y mantenimiento.

La alta velocidad ferroviaria tiene efectos externos. Se trata de un modo de transporte que produce efectos barrera, alteración de paisajes e impacto visual. Algunos de estos costes se mitigan e internalizan en los gastos de construcción, pero el efecto final varía en cada caso, dependiendo de las características del terreno afectado por cada proyecto.

Finalmente, nuestro análisis ha concluido con una discusión breve de las principales tendencias agregadas en la demanda de servicios de alta velocidad ferroviaria. Al comparar la evolución seguida en Japón (donde el concepto de *tren-bala* lleva cuarenta años de experiencia) con la posible evolución en Europa, hemos detectado cierto *efecto de madurez* que estancaría progresivamente la demanda, una vez superada la fase de expansión inicial.

Bibliografía

- ATKINS (2004): «High-Speed Line Study», *Summary Report Department of Environment, Transport and the Regions*, Londres, <http://www.dft.gov.uk>.
- BLUM, U., K. E. HAYNES y C. KARLSSON (1997): «Introduction to the Special Issue the Regional and Urban Effects of High-Speed Trains», *The Annals of Regional Science*, 31 (1), 1-20, mayo.
- BONNAFOUS, A. (1987): «The Regional Impact of the TGV», *Transportation*, 14 (2), 127-137, junio.
- COMISIÓN EUROPEA (1996): Directiva 96/48 relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad (*Interoperability of the Trans European High Speed Rail System*), Bruselas, 23 de julio.
- (2001): *European Transport Policy for 2010: Time to Decide*, Libro Blanco, Bruselas.
- COTO-MILLÁN, P. y V. INGLADA (2004): «Social Benefit of Investment Projects: The Case for High-Speed Rail» (cap. 23), en P. Coto-Millán (ed.), *Essays on Microeconomics and Industrial Organisation*, 2ª. ed., Nueva York, Heidelberg, Springer.
- DE RUS, G. y V. INGLADA (1993): «Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España», *Revista de Economía Aplicada*, 1 (3), 27-48, invierno.
- y V. INGLADA (1997): «Cost-Benefit Analysis of the High-Speed Train in Spain», *The Annals of Regional Science*, 31 (2), 175-188, mayo.
- y C. ROMAN (2005): «Economic Evaluation of the High Speed Rail Madrid-Barcelona», *8th Nectar Conference*, Las Palmas de Gran Canaria, 1-4 de junio.
- y G. NOMBELA (2007): «Is the Investment in High Speed Rail Socially Profitable?», *Journal of Transport Economics and Policy*, 41 (1), 3-23, enero.
- y C. NASH (2009): «¿En qué circunstancias está justificado invertir en líneas de alta velocidad ferroviaria?», Documento de trabajo 04, Bilbao, Fundación BBVA.
- FLYVBJERG, B., M. K. SKAMRIS y S. L. BUHL (2004): «What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?», *Transport Reviews*, 24 (1), 3-18, enero.
- GÓMEZ-IBÁÑEZ, J. A. y G. DE RUS (eds.) (2006): *Competition in the Railway Industry: An International Comparative Analysis*, Las Palmas de Gran Canaria, Edward Elgar.
- HAYNES, K. E. (1997): «Labor Markets and Regional Transportation Improvements: The Case of High-Speed Trains: An Introduction and Review», *The Annals of Regional Science*, 31 (1), 57-76, mayo.
- HOOD, C. P. (2006): *Shinkansen: From Bullet Train to Symbol of Modern Japan*, Nueva York, Routledge.
- INFRAS/IWW (2000): *External Costs of Transport*, informe encargado por la Union Internationale des Chemins de fer (UIC), Zúrich-Karlsruhe-París.

- LEVINSON, D., J. M. MATHIEU, D. GILLEN y A. KANAFANI (1997): «The Full Cost of High Speed Rail: An Engineering Approach», *The Annals of Regional Science*, 31 (2), 189-215, mayo.
- MARTIN, F. (1997): «Justifying a High-Speed Rail Project: Social Value vs. Regional Growth», *The Annals of Regional Science*, 31 (2), 155-174, mayo.
- NASH, C. A. (1991): *The Case for High Speed Rail*, Documento de Trabajo 323, Institute for Transport Studies, The University of Leeds.
- PLASSARD, F. (1994): «High Speed Transport and Regional Development», en *Regional Policy, Transport Network*, European Conference of Ministers of Transport, París.
- PRESTON, J. y G. WALL (2007): «The Impact of High Speed Trains on Socio-Economic Activity», 11th WCTRS, Berkeley, 24-27 de junio.
- SDG (STEER DAVIES GLEAVE) (2004): *High Speed Rail: International Comparisons*, preparado por Steer Davies Gleave para la Commission for Integrated Transport, Londres.
- UIC (UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER) (2005a): *High Speed. Rail's Leading Asset for Customers and Society*, París, UIC Publications, <http://www.uic.asso.fr>.
- (2005b): *Estimation des Ressources et des Activités Économiques Liées a la Grande Vitesse*, preparado por CENIT (Center for Innovation in Transport), París, Universitat Politècnica de Catalunya.
- (2006): *Railway Time-Series Data 1970-2004*, París, UIC Publications, febrero.
- VICKERMAN, R. (1995): «The Regional Impacts of Trans-European Networks», *The Annals of Regional Science*, 29 (2), 237-254, junio.
- (1997): «High-Speed Rail in Europe: Experience and Issues for Future Development», *The Annals of Regional Science*, 31 (1), 21-38, mayo.

N O T A S O B R E L O S A U T O R E S

JAVIER CAMPOS MÉNDEZ es doctor en Economía y profesor titular de Economía Industrial en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Se ha formado en la London School of Economics (Londres) y en el Centro de Estudios Monetarios y Financieros (Madrid). Entre 1999 y 2000 trabajó en Washington como consultor para el Banco Mundial en proyectos de desregulación ferroviaria en Perú, México, Argentina, Bolivia y Brasil. Asimismo, ha realizado varios trabajos similares para la Comisión Europea y el Ministerio de Fomento. Ha publicado dos libros y varios artículos en revistas nacionales e internacionales, además de asistir a numerosos congresos e impartir cursos sobre economía y política del transporte.

Correo electrónico: jcampos@daea.ulpgc.es

GINÉS DE RUS MENDOZA, doctor en Economía por la Universidad de Leeds (Reino Unido), es catedrático de Economía Aplicada de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Actualmente es profesor de Análisis Coste-Beneficio en el máster de *economía industrial* de la Universidad Carlos III de Madrid, donde ha sido director del máster en *economía del transporte*. Es miembro de diversos consejos asesores científicos y profesionales. Ha realizado proyectos de investigación para, entre otros organismos e instituciones, la Comisión Europea, el Banco Europeo de Inversiones, el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Tribunal de Defensa de la Competencia y el Ministerio de Economía y Hacienda. Sus publicaciones incluyen varios libros y numerosos artículos sobre economía del transporte y análisis coste-beneficio.

Correo electrónico: gderus@daea.ulpgc.es

Cualquier comentario sobre los contenidos recogidos en esta publicación puede dirigirse a Javier Campos Méndez a través de jcampos@daea.ulpgc.es.

IGNACIO BARRÓN DE ANGOITI es ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente, dirige la Unidad de Alta Velocidad de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), con sede en París. Ha trabajado en Renfe como gerente de grandes terminales, jefe de explotación de la terminal de alta velocidad de Madrid-Atocha y jefe de región en la Dirección de Operaciones Internacionales, con experiencia en México y Argentina. Asimismo, ha sido miembro del comité de redacción de diversas revistas. Ha publicado numerosos trabajos relacionados con la gestión del ferrocarril de alta velocidad y el transporte ferroviario en diversas publicaciones especializadas.
Correo electrónico: barron@uic.asso.fr

DOCUMENTOS DE TRABAJO

ÚLTIMOS NÚMEROS PUBLICADOS

- DT 09/12 *Trade Integration in the European Union: Relative Contributions of Openness and Interconnectedness*
Iván Arribas Fernández, Francisco Pérez García y Emili Tortosa-Ausina
- DT 08/12 *Life Potential as a Basic Demographic Indicator*
Francisco J. Goerlich Gisbert y Ángel Soler Guillén
- DT 07/12 *Unpaid Work, Time Use Surveys, and Care Demand Forecasting in Latin America*
María Ángeles Durán y Vivian Milosavljevic
- DT 06/12 *Unpaid Care Work in Africa*
Mónica Domínguez Serrano
- DT 05/12 *Regions Overburdened with Care: Continental Differences in Attention for Dependent Adults*
Jesús Rogero-García
- DT 04/12 *Estimates of Worldwide Demand for Care (2010-2050): An Econometric Approach*
Montserrat Díaz Fernández y María del Mar Llorente Marrón
- DT 03/12 *Childcare in Europe: A Reflection on the Present Economic Approach*
Susana García Díez
- DT 02/12 *Desempeño en los centros educativos: ¿Un problema de recursos o de capacidades organizativas?*
Claudio Thieme, Diego Prior, Víctor Jiménez y Emili Tortosa-Ausina
- DT 01/12 *Tablas de vida de decrementos múltiples: Mortalidad por causas en España (1975-2008)*
Francisco J. Goerlich Gisbert
- DT 04/11 *El stock y los servicios del capital en España y su distribución territorial y sectorial (1964-2010)*
Matilde Mas Ivars, Francisco Pérez García y Ezequiel Urial Jiménez (Dirs.)
- DT 03/11 *Cartografía y demografía: Una grid de población para la Comunitat Valenciana*
Francisco J. Goerlich Gisbert e Isidro Cantarino Martí
- DT 02/11 *Who Meets the Standards? A Multidimensional Approach*
Antonio Villar Notario
- DT 01/11 *Quality of Life Lost Due to Non-Fatal Road Crashes*
Patricia Cubí Mollá y Carmen Herrero
- DT 12/10 *Artistic Creation and Intellectual Property: A Professional Career Approach*
Francisco Alcalá y Miguel González Maestre

Fundación **BBVA**

Plaza de San Nicolás, 4
48005 Bilbao
España
Tel.: +34 94 487 52 52
Fax: +34 94 424 46 21

Paseo de Recoletos, 10
28001 Madrid
España
Tel.: +34 91 374 54 00
Fax: +34 91 374 85 22
publicaciones@bbva.es
www.bbva.es