

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-BARCELONA *

GINÉS DE RUS
CONCEPCIÓN ROMÁN

Universidad de Las Palmas

La inversión en infraestructura de alta velocidad ferroviaria es de alto coste y de naturaleza irreversible; sus beneficios están sujetos a incertidumbre y la construcción de la red puede realizarse gradualmente. En estas circunstancias, la evaluación económica *ex ante* es especialmente valiosa porque los proyectos pueden retrasarse. La inversión pública en esta tecnología requiere estimar el coste inicial de construcción de la infraestructura y los flujos de beneficios y costes operativos esperados durante la vida del proyecto. En el flujo de beneficios netos debe incluirse, junto a la disposición a pagar de los usuarios, los ahorros derivados de la reducción de la congestión en el pasillo de tráfico afectado, así como los costes evitados gracias a la introducción de la nueva tecnología.

Sobre la base de un modelo simplificado de evaluación económica para la línea Madrid-Barcelona, las estimaciones de las disposiciones a pagar de los individuos y de la estructura de costes, se han obtenido los niveles de demanda mínimos que se requieren para alcanzar un valor actual neto de la inversión positivo, bajo ciertos supuestos sobre la tasa de descuento, vida del proyecto, crecimiento anual de los beneficios netos, y generación de tráfico.

La evaluación realizada se fundamenta en la estimación de modelos de demanda desagregados a partir de la información obtenida mediante encuestas en los corredores: Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona. En el primer caso, con la alta velocidad en funcionamiento se ha estimado un modelo de elección modal basado en datos de preferencias reveladas de los usuarios de dicho corredor. En el segundo caso, el modelo es mixto preferencias declaradas/reveladas. Los datos de las preferencias declaradas se basan en un experimento de elección modal entre avión y tren de

(*) Este trabajo ha sido realizado con financiación del Ministerio de Fomento dentro del "Programa de Ayudas a la Investigación 2002 en el área de Transporte". Agradecemos a Isabel Santana (EIT) su labor como ayudante de investigación, a Iñaki Barrón (UIC) y a Carlos García Salvador (Ministerio de Fomento) su asesoramiento técnico. Asimismo, nuestra gratitud a AENA, Aeropuerto de Barajas, Estación de autobuses del Intercambiador de Avenida de América, estaciones de servicio de CAMPSA en Alcolea del Pinar y Sauca, y a RENFE por dar toda clase de facilidades para que los encuestadores pudieran realizar su trabajo. Finalmente, agradecemos a uno de los editores de REA y a un evaluador anónimo sus comentarios y sugerencias.

alta velocidad que incluye, además de los atributos de nivel de servicio típicos, variables latentes de confort y fiabilidad.

Palabras clave: análisis de demanda, análisis coste-beneficio, infraestructura, ferrocarriles.

Clasificación JEL: C42, C53, D61, H43, L92.

Los trabajos que analizan desde una perspectiva económica la inversión en alta velocidad ferroviaria son escasos, lo que contrasta con el volumen de capital público destinado a su construcción y financiación¹ y con la prioridad que se ha concedido a los proyectos de inversión en infraestructuras de alta velocidad dentro de las redes transeuropeas [European Commission (2001)].

Las contribuciones existentes son diferentes por cobertura y perspectiva. Algunos autores realizan una valoración económica general [Nash (1991); Vickerman (1997); Martin (1997), de Rus y Nombela (2004)]; otros han evaluado la rentabilidad económica de corredores concretos [de Rus e Inglada (1993, 1997) para la línea Madrid-Sevilla; Levinson *et al.* (1997) para Los Angeles-San Francisco; Steer Davies Gleave (2004) y Department of Environment, Transport and the Regions (2004) para el Reino Unido; y de Rus y Nombela (2004) para la Unión Europea]; en Álvarez y Herce (1993) se analizan los efectos macroeconómicos de la alta velocidad en España; y otros han dedicado su atención a los efectos sobre el desarrollo regional [Vickerman (1995); Blum, Haynes y Karlsson (1997); Plassard (1994); Haynes (1997)].

La decisión de invertir en la construcción de líneas ferroviarias de alta velocidad no puede independizarse del volumen de demanda existente en el pasillo de tráfico donde operará el nuevo modo de transporte, aunque este aspecto crucial se olvide con demasiada frecuencia en la discusión sobre la oportunidad de acometer nuevos proyectos. La demanda, su cantidad y composición, determina en gran medida el margen de rentabilidad social esperada de la inversión. Esto, que es cierto en general, lo es particularmente en el caso de la alta velocidad ferroviaria, véase de Rus y Nombela (2004).

Que la demanda esperada sea una variable especialmente relevante en la decisión de si debe invertirse dinero público o no en la construcción de nuevas líneas de alta velocidad, se explica por el elevado porcentaje de costes fijos y hundidos de esta modalidad de transporte y a las indivisibilidades que presenta. Si el componente fijo e indivisible en la estructura de costes es alto, el coste por pasajero es muy sensible a la cantidad de usuarios que utilicen el sistema.

El hecho de que la demanda deba ser elevada en este tipo de inversiones es algo generalmente aceptado; sin embargo, no es una condición suficiente para que sea una buena opción de política económica el invertir fondos públicos en esta tecnología. Se

(1) La mitad de los 248.892 millones de euros del total de las actuaciones previstas dentro del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT), para el periodo 2005-2020, se destinan a inversiones ferroviarias. El 60% de la financiación del PEIT es presupuestaria y el 40% extrapresupuestaria, aunque en el caso del ferrocarril la presupuestaria alcanza el 81%. Un tercio del total de la inversión del PEIT hasta el 2020 se destina a alta velocidad.

requiere un volumen de demanda alto; y además, que los usuarios estén dispuestos a pagar una cantidad suficientemente alta que justifique el elevado coste de estos proyectos. Una disposición a pagar elevada –con independencia de que se traduzca en pago efectivo o en billete subvencionado– refleja que la alta velocidad aporta ventajas frente al modo convencional que el usuario utilizaba de manera habitual.

Para el caso de España, un país que optó por priorizar la alta velocidad en el Plan de Infraestructuras recientemente revisado, el único trabajo que evalúa la rentabilidad económica de este tipo de inversiones se limita a la línea Madrid-Sevilla [de Rus e Inglada (1993, 1997)]. En dicha evaluación, si bien se utilizaron los datos reales de costes del proyecto, en lo que se refiere a las disposiciones a pagar se emplearon valores del tiempo transferidos de otros estudios o recomendados por el Ministerio de Transportes. Sólo en el corredor Madrid-Barcelona se han estimado valores específicos, véase Gonzalez-Savignat (2004) aunque no se realiza un análisis económico de la inversión.

En este trabajo se analiza la línea Madrid-Barcelona desde una perspectiva económica, empleando un modelo simplificado de análisis coste-beneficio alimentado con la información procedente del análisis de demanda específicamente diseñado y realizado para este fin, mediante el que se buscan los factores que determinan la elección modal en los principales corredores afectados por el proyecto.

La atención se centra en los corredores de mayor demanda: Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona; donde se espera que el tren de alta velocidad (AVE) pueda captar un mayor número de viajeros. En el primer caso, el AVE ejercerá una mayor competencia sobre el vehículo privado, mientras que en el segundo corredor se espera que capte un mayor número de viajeros del avión.

Aunque se sabe que la mayor parte de los beneficios en proyectos de transporte se derivan de los ahorros de tiempo de los viajeros, es importante determinar si hay otros factores, aparte de los que tradicionalmente se tratan en la literatura, que los individuos tienen en cuenta a la hora de seleccionar un modo de transporte. Tanto la selección del conjunto de factores apropiado, como su correcta especificación en el modelo, tienen una incidencia directa sobre el resultado de la evaluación de un proyecto determinado.

En este trabajo se plantean modelos de demanda desagregados, basados en la información proporcionada por encuestas dirigidas a los viajeros en los corredores anteriormente señalados. Se analiza cuál es el efecto de las variables clave para la política de transporte y de otros factores que tradicionalmente no se incorporan a los modelos, pero que pueden incidir de manera decisiva tanto en las decisiones de los viajeros, como en la interpretación y uso de los resultados del análisis.

Además de los valores del tiempo de viaje, acceso y espera, se estudia el efecto de la puntualidad y la comodidad en el caso del corredor Madrid-Barcelona, obteniéndose distintas medidas de disposición a pagar que serán utilizadas para analizar la evaluación económica del proyecto.

En este trabajo se trata de averiguar cuánto es lo que los usuarios ganan con la inversión en alta velocidad y qué volumen de demanda aproximado sería necesario durante la vida del proyecto para alcanzar una rentabilidad razonable, bajo un conjunto de supuestos que hacen manejable el problema sin perder realismo. La finalidad no es discutir si debería haberse invertido en esta línea, decisión en gran parte irreversible, sino aportar un marco metodológico sencillo para el análisis económico de las nuevas inversiones que se proyectan.

La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 1 se realiza una discusión metodológica sobre la modelización de la demanda, estimándose las disposiciones a pagar por ahorros de tiempo en los corredores Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona. Para este último también se estima la disposición a pagar por disfrutar de mayor calidad. En la sección 2 se presenta un modelo simplificado de evaluación económica de alta velocidad, aplicándose en la sección 3 a la línea Madrid-Barcelona. En esta sección se realizan estimaciones sobre la demanda que se requeriría para alcanzar el umbral de rentabilidad social en esta inversión pública. Las conclusiones generales del trabajo se recogen en la sección 4.

1. MODELIZACIÓN DE LA DEMANDA

1.1. *Fundamentos teóricos*

La modelización de la demanda se basa en la estimación de modelos desagregados que utilizan la información proporcionada por los viajeros acerca de sus preferencias frente a la elección modal. Estos modelos tienen su fundamento teórico en la microeconomía de las elecciones discretas [McFadden (1981)]. Por otra parte, la especificación del modelo econométrico se basa en la teoría de la utilidad aleatoria [McFadden (1974)] que establece que la función de utilidad indirecta puede expresarse como la suma de una componente observable o representativa y de una componente no observable (o error) de naturaleza aleatoria. Las hipótesis realizadas acerca de la distribución de los errores darán lugar a la formulación de los distintos modelos de elección discreta.

1.2. *Los datos*

Corredor Madrid-Zaragoza

El análisis de la demanda de viajes en el corredor Madrid-Zaragoza se realiza a partir de información obtenida de la explotación de una encuesta de Preferencias Reveladas dirigida a los usuarios de los principales modos de transporte en dicho corredor: coche², autobús, tren de alta velocidad (AVE) y avión³. El objetivo de esta encuesta era captar las preferencias de los viajeros ante la nueva situación de mercado, creada tras la introducción de la nueva línea de alta velocidad en este corredor.

Las encuestas de los usuarios de autobús, AVE y avión se realizaron mediante entrevista personal, mientras que a los usuarios de coche se les entregó un cuestionario que sería cumplimentado por el viajero y devuelto posteriormente por correo. Se diseñó un cuestionario específico para los usuarios de los distintos modos

(2) En este caso se distinguió entre conductor y acompañante dado que las decisiones frente a la elección modal pueden variar. En muchas ocasiones los que viajan como acompañantes tienen la oportunidad de compartir los costes de viaje con otros ocupantes (o viajar de forma gratuita) haciendo que esta alternativa resulte más rentable que utilizar su propio vehículo.

(3) Las encuestas se realizaron durante los meses de abril y mayo de 2004. En el caso del autobús y del avión las encuestas se realizaron en el Intercambiador de Av. de América y en la sala de embarque del Aeropuerto de Madrid respectivamente, mientras que los usuarios del AVE fueron entrevistados en el tren. Finalmente, los usuarios del vehículo privado fueron localizados en estaciones de servicio estratégicamente localizadas entre los kilómetros 123 y 135 de la carretera nacional A-II.

de transporte. En todos los casos, el cuestionario estaba formado por cuatro bloques fundamentales: identificación del cuestionario, información relativa al viaje realizado, información relativa al hogar del entrevistado e información socioeconómica de dicha persona. En la parte de información relativa al viaje se incluyeron preguntas, no sólo para obtener información acerca de los principales atributos de la alternativa elegida, sino también para poder obtener información de todas aquellas alternativas que el viajero tenía disponibles para realizar el viaje y que no eligió. El tamaño de la muestra en cada modo de transporte se determinó teniendo en cuenta la información disponible en otros estudios acerca de la distribución modal en el corredor [González-Savignat (2000)]. Dado que no se disponía de información totalmente actualizada acerca de la distribución modal (tras la introducción del AVE y la desaparición del tren convencional) y teniendo en cuenta que el nuevo modo ejercería una mayor competencia sobre el vehículo privado, se decidió incrementar el número de entrevistas a los viajeros del AVE y reducir el número de entrevistas a los usuarios del coche.

Después de depurar la información, se obtuvieron un total de 226 encuestas válidas en el corredor Madrid-Zaragoza. El cuadro 1 presenta el reparto modal de la muestra en dicho corredor⁴.

Cuadro 1: REPARTO MODAL DE LA MUESTRA. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA

Modo	Viajeros	%
Coche conductor	59	26,11
Coche acompañante	17	7,52
Autobús	57	25,22
Ave	75	33,19
Avión	18	7,96

Fuente: Elaboración propia

Como puede verse en el cuadro 1, los modos dominantes son el coche y el AVE, ambos con cuotas de mercado del 33%, seguido del autobús (con un 25%) y del avión (8%).

En el cuestionario se incluyó la pregunta: “¿Qué modo de transporte utiliza Ud. habitualmente para realizar este viaje?”. La explotación de dicha pregunta permitió obtener, en el caso de los viajeros que eligen el AVE una aproximación de los viajes generados y de los viajes desviados. Estos resultados se muestran en el cuadro 2. Así, por ejemplo, de los viajeros que eligieron el AVE, el 3% viaja habitualmente en avión, el 16% en coche, el 49% en tren (tren convencional antes de que el AVE co-

(4) No obstante, el pequeño sesgo que pudiera existir al comparar la distribución modal en la muestra con la verdadera distribución modal (desconocida) no afecta al resultado de la evaluación económica del AVE ya que ésta se basa en el tráfico captado de otros modos.

menzase a operar en el corredor) y el 1% en autobús. Utilizando estos resultados como una aproximación de los viajes desviados, se observa que la mayor parte de la demanda del AVE proviene del tren convencional y del coche. También se aprecia que un 31% de los viajeros del AVE realizan el viaje por primera vez; por lo que este porcentaje puede interpretarse como una aproximación de los viajes generados.

Cuadro 2: CLASIFICACIÓN DEL MODO DE TRANSPORTE HABITUAL
POR MODO ELEGIDO. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA

Modo elegido habitualmente para realizar el mismo viaje					
Corredor Madrid-Zaragoza	Modo de procedencia (%)				
Modo elegido	Avión	Coche	Tren	Autobús	Primer viaje
Avión	61,11	5,56	0,00	0,00	33,33
Coche	1,32	67,11	7,89	7,89	15,79
AVE	2,67	16,00	49,33	1,33	30,67
Autobús	0,00	1,75	3,51	87,72	7,02

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 3 recoge las variables de servicio de los distintos modos, así como de las principales características socioeconómicas de los individuos de la muestra. El tiempo total de viaje se ha desagregado en sus principales componentes: tiempo de acceso, tiempo de espera, tiempo en el vehículo y tiempo de egreso (acceso al destino final). Destaca el hecho de que el tiempo total de viaje en AVE es muy similar al del coche (212 minutos aproximadamente). A pesar de que el tiempo total de viaje en avión es alrededor de 15 minutos menos que en AVE, los tiempos de acceso y de espera en este modo representan casi el 72% del tiempo total del viaje. En relación al propósito del viaje, los viajes por motivo de trabajo en este corredor representan cerca del 46% del total y casi un 59% de los viajeros eran hombres. En cuanto a la renta semanal *per cápita*, se observaron diferencias significativas entre los usuarios de los distintos modos, siendo el promedio de esta variable de 208 euros para los usuarios de autobús y de 318 euros para los usuarios del AVE.

Corredor Madrid-Barcelona

El estudio de la demanda de viajes en el corredor Madrid-Barcelona se basa en la explotación de dos bases de datos obtenidas a partir de una encuesta de Preferencias Reveladas, similar a la realizada en el caso de Madrid-Zaragoza, y de una encuesta de Preferencias Declaradas dirigida a los usuarios de avión, donde se les enfrenta a un experimento de elección entre el avión y el AVE. Con estas dos bases de datos, se aplica la metodología de estimación con Datos Mixtos formulada por Bradley y Daly (1997), siendo posible estimar la utilidad de alternativas que no se encuentran actualmente en el mercado, como es el caso de la línea del AVE hasta Barcelona.

Cuadro 3: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA						
	Modo elegido					
	Coche conductor	Coche acompañante	Autobús	AVE	Avión	Total modos
Elección	59	17	57	75	18	226
Disponibilidad de la alternativa	164	92	189	218	171	—
Variables de servicio (Promedio sobre alternativa disponible)						
Tiempo de acceso (minutos)	—	—	29	27	37	—
Tiempo de espera (minutos)	—	—	30	23	60	—
Tiempo de viaje (minutos)	213	208	256	129	57	—
Tiempo de egreso (minutos)	—	—	29	34	42	—
Coste de viaje/combustible (€)	26,80	15,04	12,84	43,81	69,62	—
Peaje (€)	2,90	1,60	—	—	—	—
Coste de acceso (€)	—	—	3,29	3,33	6,91	—
Coste de egreso (€)	—	—	3,80	5,23	8,20	—
Tiempo entre dos servicios (min)	—	—	60	75	658	—
Principales variables socioeconómicas (Clasificación por modo elegido)						
Motivo del viaje: Trabajo o estudios	20 (34%)	8 (47%)	14 (25%)	52 (69%)	10 (56%)	104 (46%)
Motivo del viaje: Otro	39 (66%)	9 (53%)	43 (75%)	23 (31%)	8 (44%)	122 (54%)
Viajeros con tiempo acc+egr <60'	—	—	47 (82%)	55 (73%)	16 (89%)	118 (52%)
Viajeros con tiempo acc+egr >60'	—	—	10 (18%)	20 (27%)	2 (11%)	32 (14%)
Hombre	44 (75%)	7 (41%)	17 (30%)	51 (68%)	13 (72%)	132 (58%)
Mujer	15 (25%)	10 (59%)	40 (70%)	24 (32%)	5 (28%)	94 (42%)
Edad (promedio)	37	35	32	38	34	36
Renta semanal per cápita (promedio €)	263,98	298,71	207,66	318,36	314,53	274,46
Tasa de gasto (promedio)	2,10	2,25	1,56	2,46	2,46	2,13

Fuente: Elaboración propia

Otro de los objetivos de este trabajo consiste en analizar el efecto de variables latentes sobre las decisiones de elección modal. Estas variables, a pesar de intuir que pueden ser tenidas en cuenta por los individuos, generalmente no se especifican en los modelos, debido a que su medición resulta bastante compleja. Los experimentos de Preferencias Declaradas resultan idóneos para analizar este tipo de cuestiones siempre que la definición de dichas variables se realice adecuadamente. Las razones expuestas justifican el empleo de datos de esta naturaleza. Además el hecho de explotarlos conjuntamente con los datos de Preferencias Reveladas, da una robustez mayor a los resultados de la modelización.

El tamaño de la muestra en cada modo de transporte se determinó siguiendo el mismo procedimiento empleado en el caso del corredor Madrid-Zaragoza. En el cuadro 4 se muestra el reparto modal obtenido en la encuesta de Preferencias Reveladas⁵. En este caso, dado que se trata de viajes de largo recorrido, el modo dominante es el avión con una cuota de mercado del 67%⁶.

Cuadro 4: REPARTO MODAL DE LA MUESTRA. CORREDOR MADRID-BARCELONA

Modo	Viajeros	%
Coche conductor	38	8,62
Coche acompañante	18	4,08
Autobús	39	8,84
Tren convencional	51	11,56
Avión	295	66,89

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 5 muestra una clasificación del modo de transporte utilizado habitualmente para realizar este viaje en función del modo elegido por el individuo. Destaca el hecho de que mayoritariamente (para el 85,76%), los individuos que eligen el avión utilizan este modo de forma habitual. En el caso de los que eligen el coche y el tren, hay un porcentaje significativo de individuos que eligen habitualmente otros modos.

En el cuadro 6 se presenta un análisis descriptivo de las variables de servicio de los distintos modos, así como de las principales características socioeconómi-

(5) La metodología durante la fase de trabajo de campo fue idéntica a la seguida en el caso del corredor Madrid-Zaragoza. De hecho, las encuestas en ambos corredores se realizaron de forma simultánea. La única diferencia sustancial fue que las encuestas a usuarios de avión se realizaron por ordenador con el objeto de mejorar la calidad del experimento de Preferencias Declaradas.

(6) En el caso de las encuestas realizadas a los usuarios de coche, se obtuvo una tasa de no respuesta superior a la esperada. Esto dio lugar a un ligero sesgo a la baja en la cuota de mercado muestral de la alternativa coche y a un ligero sesgo al alza en la cuota de mercado del avión (en González-Savignat (2000), se señala una cuota de mercado para el avión del 60%). No obstante, estos resultados no afectan a la evaluación económica ya que, como se ha señalado con anterioridad, ésta se basa en el tráfico captado por el nuevo modo de transporte.

**Cuadro 5: CLASIFICACIÓN DEL MODO DE TRANSPORTE HABITUAL
POR MODO ELEGIDO. CORREDOR MADRID-BARCELONA**

Modo elegido habitualmente para realizar el mismo viaje					
Corredor Madrid-Barcelona	Modo de procedencia (%)				
Modo elegido	Avión	Coche	Tren	Autobús	Primer viaje
Avión	85,76	5,08	1,69	0,34	7,12
Coche	10,71	41,07	8,93	5,36	33,93
AVE	13,73	13,73	47,06	0,00	25,49
Autobús	0,00	10,26	0,00	51,28	38,46

Fuente: Elaboración propia

cas de los individuos de la muestra. Al igual que en el otro corredor estudiado, el tiempo total de viaje se ha desagregado en sus principales componentes: tiempo de acceso, tiempo de espera, tiempo en el vehículo y tiempo de egreso (acceso al destino final).

En este caso, el tiempo total de viaje en avión es sustancialmente inferior al resto de los modos y al igual que en el caso de Madrid-Zaragoza, la proporción de tiempos de acceso y de espera es cercana al 70% del tiempo total del viaje. El coche es el segundo modo más rápido siendo la duración total del viaje 70 minutos menos que en tren.

Los viajes por motivo de trabajo o estudios tienen un peso más importante en este corredor, representando un 56% del total, y aproximadamente un 54% de los viajeros eran hombres. Las diferencias en la renta semanal *per cápita* entre los usuarios de los distintos modos de transporte son más significativas que en el caso de Madrid-Zaragoza, oscilando entre 167 euros para el caso del autobús y 351 euros para los viajeros de avión. En este corredor la renta promedio para todos los modos es 54 euros mayor.

Como ya se ha indicado anteriormente, a los mismos usuarios de avión que respondieron a la encuesta de Preferencias Reveladas se les sometió a un experimento de elección de Preferencias Declaradas entre las alternativas avión y AVE⁷.

Bajo la hipótesis de que la fiabilidad y el confort son tenidas en cuenta, junto con el ahorro de tiempo al decidir el modo de transporte, se incluyeron dos varia-

(7) Con el fin de hacer el ejercicio creíble y realista se construyó un diseño adaptado a la experiencia del individuo, definiendo los niveles de algunas variables en función de los valores reales que tomaban estas variables en la encuesta de Preferencias Reveladas. Para ello fue necesario crear un programa específico haciendo uso del *Software WINMINT*. Una de las ventajas del empleo de datos de Preferencias Declaradas es que, por cada individuo, es posible obtener varias observaciones. En este trabajo, cada persona proporcionó 9 observaciones; obteniéndose una muestra en total de 2.689 observaciones.

Cuadro 6: ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA. CORREDOR MADRID-BARCELONA

	Modo elegido					Total modos
	Coche conductor	Coche acompañante	Autobús	AVE	Avión	
Elección	38	18	39	51	295	441
Disponibilidad de la alternativa	165	92	165	288	435	-
<i>Variables de servicio (Promedio sobre alternativa disponible)</i>						
Tiempo de acceso (minutos)	-	-	27	29	36	-
Tiempo de espera (minutos)	-	-	40	28	58	-
Tiempo de viaje (minutos)	357	369	477	332	59	-
Tiempo de egreso (minutos)	-	-	33	9	37	-
Coste de viaje/combustible (€)	46,07	22,70	25,13	62,33	95,19	-
Peaje (€)	18,32	4,45	-	-	-	-
Coste de acceso (€)	-	-	2,66	5,47	7,31	-
Coste de egreso (€)	-	-	3,50	7,07	7,91	-
Tiempo entre dos servicios (min)	-	-	46	150	33	-
<i>Principales variables socioeconómicas (Clasificación por modo elegido)</i>						
Motivo del viaje: Trabajo o estudios	16 (42%)	3 (17%)	10 (26%)	31 (61%)	187 (63%)	247 (56%)
Motivo del viaje: Otro	22 (58%)	15 (83%)	29 (74%)	20 (39%)	108 (37%)	194 (44%)
Viajeros con tiempo acc+egr <60'	-	-	28 (72%)	45 (88%)	240 (81%)	313 (71%)
Viajeros con tiempo acc+egr >60'	-	-	11 (28%)	6 (12%)	55 (19%)	72 (16%)
Hombre	26 (68%)	8 (44%)	15 (38%)	28 (55%)	160 (54%)	237 (54%)
Mujer	12 (32%)	10 (56%)	24 (62%)	23 (45%)	135 (46%)	204 (46%)
Edad (promedio)	41	31	28	39	36	36
Renta semanal <i>per cápita</i> (promedio €)	355,93	166,89	188,25	341,57	350,68	328,88
Tasa de gasto (promedio)	2,86	1,23	1,41	2,68	2,81	2,62

Fuente: Elaboración propia

bles latentes en el experimento: la puntualidad y la comodidad. Estas variables junto con el resto de atributos de nivel de servicio (tiempo, coste, frecuencia, etc.) ayudan a definir de forma más precisa la calidad global de la alternativa de transporte. Si el individuo tiene en cuenta el valor de estas variables a la hora de elegir el modo de transporte, y el analista no es capaz de especificarlas en el modelo, las estimaciones estarán sesgadas y la interpretación de los resultados del modelo puede llegar a ser contra-intuitiva como se discute más adelante (véase el anexo A1 para obtener más detalles acerca del experimento).

1.3. El modelo

Demanda de viajes en el corredor Madrid-Zaragoza

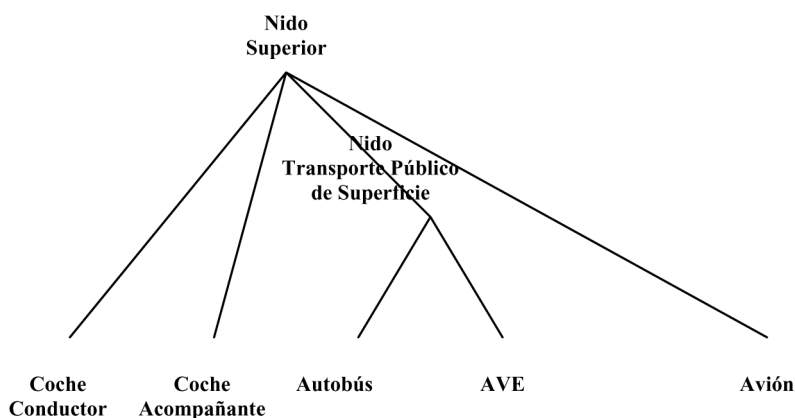
Para analizar la demanda de viajes en el corredor Madrid-Zaragoza se plantea un modelo desagregado de elección modal, que se basa en la información de Preferencias Reveladas obtenida en las encuestas. Por tanto, se obtienen estimaciones de las funciones de utilidad de los distintos modos de transporte en el corredor. Estas funciones de utilidad se especifican en términos de aquellos factores que mejor expresen las preferencias de los individuos. En general, estos factores se representan por las variables del nivel de servicio de las distintas alternativas y las características socioeconómicas del individuo.

Se ha empleado una especificación lineal en los parámetros pero no lineal en las variables para la utilidad, que trate de captar el efecto de la renta en las decisiones de los individuos. Para ello se utiliza una especificación que incluye la tasa de gasto (g) (que se define como renta por unidad de tiempo disponible) dividiendo al coste de viaje, véase Jara-Díaz y Farah (1987). Dado que la proporción de gasto en transporte, sobre la renta del individuo para este tipo de viajes, no es despreciable (está comprendida entre un 5% y un 27% dependiendo del modo utilizado) se ha incluido en la especificación un término cuadrático para el coste de viaje [Jara-Díaz (1998)]. (Véase anexo A2 para analizar en mayor detalle las variables empleadas en el modelo).

Con el objeto de analizar la variación sistemática en los gustos se han especificado las variables socioeconómicas interactuando con los atributos modales, véase Rizzi y Ortúzar (2003). Se define la variable ficticia T según se indica en el cuadro A2.1 para analizar si el tiempo de viaje era percibido de forma diferente por aquellos individuos que viajaban por motivo de trabajo o estudios. También se ha estudiado el efecto diferente que el tiempo de acceso+egreso puede tener, en función de si el individuo tarda menos (o más) de 60 minutos en ir desde su lugar de origen a la estación/aeropuerto y desde la estación/aeropuerto en destino hasta el destino final del viaje. Para ello se ha definido la variable ficticia $T_{a<60}$ según se indica en el cuadro A2.1.

Durante el proceso de modelización se estimaron diversos modelos del tipo *Logit* Jerárquico y se realizaron diversos test de hipótesis con el objeto de analizar distintos patrones de sustitución (o correlación) entre los modos de transporte. De todos los casos analizados, se encontró que los modelos que especificaban correlación entre el autobús y el AVE eran estadísticamente superiores. La estructura de árbol de estos modelos se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1: ESTRUCTURA DEL MODELO. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA



Fuente: Elaboración propia

El cuadro 7 muestra el resultado de las estimaciones. Todos los parámetros resultaron con el signo correcto y significativos al 95% de confianza, a excepción de la frecuencia en la alternativa autobús (que se expresó como tiempo entre dos servicios), el parámetro base del tiempo de viaje y el parámetro de la interacción del tiempo de acceso con $T_{a < 60}$.

La frecuencia no se especifica en la utilidad del AVE y del avión debido a que, al ser el número de servicios al día muy reducido para estas alternativas (en comparación al autobús), su inclusión distorsiona la interpretación de otros atributos relevantes. La baja significatividad de las otras variables se debe a la especificación de interacciones de variables socioeconómicas con variables de nivel de servicio. Dado que en todos los casos se trataba de variables relevantes y con un signo adecuado, se optó por dejarlas en el modelo para su aplicación posterior.

De acuerdo a la magnitud de los parámetros, se observa que el tiempo de viaje produce mayor desutilidad a los individuos que viajan por motivo obligado (trabajo o estudios) que a los que viajan por otros motivos. Por otra parte, el tiempo de acceso+egreso produce mayor desutilidad a aquellos individuos que emplean más de 60 minutos en acceder a la estación/aeropuerto y en ir desde la estación/aeropuerto al destino final del viaje.

Demanda de viajes en el corredor Madrid-Barcelona

La demanda de viajes en el corredor Madrid-Barcelona se ha analizado utilizando la metodología de estimación con Datos Mixtos. Ésta permite combinar información de Preferencias Reveladas con información de Preferencias Declaradas y explotar de forma conjunta las ventajas y reducir los inconvenientes que ambas fuentes de datos poseen cuando se trabaja con ellos de forma separada.

El uso conjunto de los datos de Preferencias Reveladas y Preferencias Declaradas para estimar modelos de elección modal se basa en la hipótesis de que la di-

Cuadro 7: RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA

Parámetros	Estimación (estadístico t)	
Constante coche conductor	C_{cc}	-2,6730 (-2,6)
Constante coche acompañante	C_{ca}	-5,1480 (-3,4)
Tiempo de viaje (t_v)	θ_{tv}	-0,0048 (-1,0)
Coste de viaje/g (C_v/g)	$\theta_{cv/g}$	-0,1761 (-4,1)
Tiempo entre dos servicios (f)	θ_f	-0,0096 (-0,7)
Coste de viaje ² /gl (c_v^2/gl)	$\theta_{cv2/gl}$	-0,1204 (-3,3)
Tiempo de acceso+egreso (t_a)	θ_{ta}	-0,0320 (-3,4)
Tiempo de espera (t_e)	θ_{te}	-0,0193 (-2,0)
Tiempo de viaje_Trabajo ($t_v * T$)	θ_{tv_T}	-0,0191 (-3,9)
Tiempo de acceso_T acc+egr<60 ($T_{a<60} * t_a$)	$\theta_{ta_Ta<60}$	0,0041 (-0,4)
Parámetro del nido	μ	0,3556 (-4,2)
		[-7,5]
$l^*(0)$		-272,4
$l^*(\theta)$		-222,1
N.º observaciones		210

* Valor del estadístico t con respecto a $\mu = 1$.

Fuente: Elaboración propia

ferencia en el error estocástico de las utilidades se puede representar en función de sus varianzas de acuerdo a la expresión [Ben-Akiva y Morikawa (1990)]:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \mu^2 \sigma_\eta^2 \quad [1]$$

donde μ es un parámetro desconocido y ε y η son los términos de error de las utilidades de Preferencias Reveladas y Preferencias Declaradas, respectivamente. Para poder mezclar ambas bases de datos se plantean las siguientes funciones de utilidad para una alternativa j que esté presente en ambas bases de datos:

$$U_j^{PR} = V_j^{PR} + \varepsilon_j = \theta X_j^{PR} + \alpha P_j^{PR} + \varepsilon_j$$

$$\mu U_j^{PD} = \mu(V_j^{PD} + \eta_j) = \mu(\theta X_j^{PD} + \omega Z_j^{PD} + \eta_j)$$
[2]

donde θ , α y ω son parámetros a estimar; X_j^{PR} y X_j^{PD} son atributos comunes a ambas bases de datos; y Y_j^{PR} y Z_j^{PD} son atributos que sólo pertenecen a una de las bases de datos.

Una vez estimado el modelo se construye, para las alternativas definidas en Preferencias Reveladas y Declaradas, una función de utilidad híbrida que incluye a los atributos comunes y a los no comunes debidamente escalados por el factor μ [Louviere *et al.* (2000)].

En este caso, se definieron las funciones de utilidad de Preferencias Reveladas para el coche como conductor, el coche como acompañante, el autobús, el tren y el avión. Además, se definieron dos funciones de utilidad adicionales para las alternativas de Preferencias Declaradas: el avión y el AVE.

En el caso de las utilidades de Preferencias Reveladas, se emplea una especificación similar a la del corredor Madrid-Zaragoza. En este caso, las proporciones de gasto en transporte sobre la renta semanal eran mayores (oscilando entre un 16% para el caso del autobús y un 31% para el caso del avión) por lo que la inclusión de términos cuadráticos para el coste de viaje está más justificada.

En las utilidades de las Alternativas de Preferencias Declaradas, se especifican los atributos incluidos en el experimento. En el caso de la comodidad, ésta se especifica en la utilidad del avión interactuando con el tiempo de viaje, lo que permite obtener las disposiciones a pagar por ahorrar tiempo de viaje en función de la comodidad y las disposiciones a pagar por aumentos en comodidad en función de la duración del viaje.

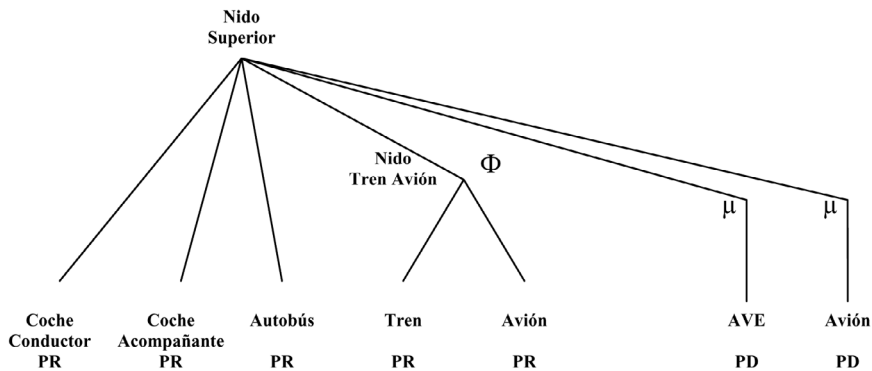
Se han analizado diversos patrones de sustituibilidad entre las alternativas de Preferencias Reveladas estimando modelos *Logit* Jerárquico. A diferencia del corredor Madrid-Zaragoza, los modelos que incorporaban correlación entre el tren y el avión ofrecieron mejores resultados. Para combinar las dos bases de datos se utilizó el método de estimación simultánea propuesto por Bradley y Daly (1997), donde las alternativas de Preferencias Declaradas se colocan cada una en un nido de alternativa única con igual parámetro de escala para todas ellas. El gráfico 2 representa la estructura del modelo.

Los resultados de la estimación se muestran en el cuadro 8. Todos los parámetros presentan el signo correcto y son significativos al 95% de confianza, a excepción de la frecuencia, el tiempo de espera, el parámetro base del tiempo de viaje y el parámetro de la interacción del tiempo de acceso con $T_{a < 60}$. Al igual que en el otro corredor estudiado, al tratarse de variables relevantes se ha optado por dejarlas en el modelo para su aplicación posterior.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos para el otro corredor. En este caso, se observa que el tiempo de viaje produce mayor desutilidad a los individuos que viajan por motivo obligado (trabajo o estudios) que a los que viajan por otros motivos. Además la inclusión de la especificación de la interacción del tiempo con la comodidad, permite concluir que el tiempo de viaje produce más desutilidad cuando la comodidad es baja que cuando es alta. También se observa

que el tiempo de acceso+egreso produce mayor desutilidad a aquellos individuos que emplean más de 60 minutos en acceder a la estación/aeropuerto y en ir desde la estación/aeropuerto al destino final del viaje.

Gráfico 2: ESTRUCTURA DEL MODELO. CORREDOR MADRID-BARCELONA



Fuente: Elaboración propia

1.4. Obtención de las medidas de disposición a pagar

Las medidas de disposición a pagar expresan, en unidades monetarias, las variaciones que se producen en la utilidad como consecuencia de cambios en los atributos. En economía del transporte, es usual referirse a esas medidas como el valor subjetivo del atributo correspondiente, como por ejemplo, el valor subjetivo del tiempo de viaje. Éstas se definen como menos el cociente entre la utilidad marginal del atributo correspondiente y la utilidad marginal de la renta, siendo esta última igual a menos la utilidad marginal del coste de viaje.

Cuando se emplean especificaciones lineales para la función de utilidad, las medidas de disposición a pagar tienen expresiones sencillas que vienen representadas por el cociente entre dos parámetros. Sin embargo, especificaciones más complejas, que incluyen términos cuadráticos y/o interacciones entre variables dan lugar a expresiones de las medidas de disposición a pagar que, en general, toman un valor diferente para cada individuo y para cada modo de transporte.

Con el fin de ofrecer un valor representativo de las distintas medidas de disposición a pagar, se ha calculado el promedio sobre todos los individuos de la muestra para cada uno de los modos de transporte del corredor. El cuadro 9 muestra las disposiciones a pagar obtenidas en el corredor Madrid-Zaragoza.

En general, la disposición a pagar por ahorrar tiempo de viaje es mayor cuando el viaje se realiza por un motivo obligado (trabajo o estudios) y es mayor para los usuarios del avión, seguido del AVE, coche y autobús. El valor del tiempo de acceso es menor para aquellos individuos en los que dicho tiempo es inferior a 60 minutos. Estos son los individuos cuyo origen y destino del viaje está en la capital

Cuadro 8: RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN. CORREDOR MADRID-BARCELONA

Parámetros	Estimación (estadístico t)	
Constante coche conductor	C_{cc}	-3,8060 (-3,1)
Constante coche acompañante	C_{ca}	-4,7120 (-3,4)
Constante bus	C_b	-2,5810 (-2,5)
Constante tren	C_t	-1,0000 (-2,5)
Tiempo de viaje (t_v)	θ_{tv}	-0,0047 (-2,8)
Coste de viaje/g (C_v/g)	$\theta_{cv/g}$	-0,0572 (-4,7)
Tiempo entre dos servicios (f)	θ_f	-0,0011 (-0,5)
Coste de viaje ² /gl (c_v^2/gl)	$\theta_{cv^2/gl}$	-0,0174 (-3,9)
Tiempo de acceso (t_a)	θ_{ta}	-0,0199 (-4,9)
Tiempo de espera (t_e)	θ_{te}	-0,0028 (-0,4)
Tiempo de viaje_Trabajo ($t_v * T$)	θ_{tv_T}	-0,0009 (-1,0)
Tiempo de acceso_T acc+egr<60 ($T_{a<60} * t_a$)	$\theta_{ta_Ta<60}$	0,0009 (-1,0)
Puntualidad (retraso) (r)	θ_r	-0,0180 (-2,6)
Tiempo * Comodidad alta ($CA * t_v$)	θ_{CA_tv}	0,0026 (1,8)
Parámetro del nido tren-avión	Φ	0,3651 (3,2)
		[-5,62]*
Factor de escala PD	μ	0,9026 (3,2)
		[-0,34]*
$l^*(0)$		-2124,7995
$l^*(\theta)$		-1997,3985
N.º observaciones		2917

* Valor del estadístico t con respecto a $\Phi = 1$ y $\mu = 1$.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9: MEDIDAS DE DISPOSICIÓN A PAGAR. CORREDOR MADRID-ZARAGOZA

Valor subjetivo del tiempo	Coche conductor	Coche acompañante	Autobús	AVE	Avión
De viaje (€/hora)	14,46	11,29	10,55	14,36	19,08
– Motivo trabajo	23,74	21,82	19,57	25,66	34,02
– Otro motivo	4,22	3,54	3,33	4,53	7,12
De acceso+egreso (€/hora)	–	–	21,69	29,24	40,13
– Acceso+egreso <60'	–	–	21,53	27,94	36,56
– Acceso+egreso >60'	–	–	22,05	31,92	45,44
De espera (€/hora)	–	–	14,47	19,37	22,20
Entre dos servicios (€/hora)	–	–	7,22	–	–

de la provincia o en las áreas urbanas cercanas. Cuando el viaje es por motivo obligado, en todos los modos se cumple la relación $VSTA > VSTV > VSTE^8$, mientras que cuando el motivo es no obligado la relación es $VSTA > VSTE > VSTV$.

En el caso del corredor Madrid-Barcelona, las medidas de disposición a pagar se obtienen a partir de la construcción de una función de utilidad híbrida que incluye los atributos comunes a ambas bases de datos (Preferencias Reveladas y Preferencias Declaradas), más los atributos específicos incluidos de cada base de datos [Louviere *et al.* (2000)]. Estos atributos deben ir multiplicados por sus correspondientes parámetros. Cuando se trate de atributos que sólo estén definidos en Preferencias Declaradas (la comodidad y el retraso en este trabajo) los parámetros correspondientes han de ser escalados por el factor de escala μ [Cherchi y Ortúzar (2006)].

Igual que en el corredor Madrid-Zaragoza, se han calculado promedios sobre el conjunto total de individuos. El cuadro 10 muestra los resultados obtenidos. En general, la disposición a pagar por ahorrar tiempo de viaje es mayor cuando el motivo es obligado (trabajo o estudios). Además, en el caso del avión ésta es mayor cuanto menor es la comodidad. Este resultado es consistente con el hecho de que, para un individuo dado, el tiempo de viaje produce más desutilidad cuando el nivel de comodidad es inferior. Considerando el estándar actual de comodidad en el avión (baja), el valor subjetivo del tiempo de viaje es similar al del AVE, seguido del coche como conductor, del autobús, del tren convencional y del coche como acompañante.

A diferencia con el otro corredor, en todos los casos analizados se cumple que $VSTA > VSTV > VSTE$. Este hecho se debe a que al tratarse de viajes más largos, la percepción del tiempo de espera es diferente. En este caso, el parámetro de dicha variable resultó con un valor inferior y muy poco significativo.

Un hecho destacable es la elevada disposición a pagar obtenida por reducir el tiempo de retraso, siendo mayor en el caso del AVE que en el del avión. Esto se

(8) VSTA: valor subjetivo del tiempo de acceso; VSTV: valor subjetivo del tiempo de viaje; VSTE: valor subjetivo del tiempo de espera.

Cuadro 10: MEDIDAS DE DISPOSICIÓN A PAGAR. CORREDOR MADRID-BARCELONA									
Valor subjetivo del tiempo	Coche conductor	Coche acompañante	Bus	Tren convencional	Avión			Comodidad baja	AVE
					Comodidad alta				
De viaje (€/hora)	17,59	12,37	12,39	14,97	10,55			19,29	19,33
– Motivo trabajo	18,91	15,48	15,03	17,77	12,96			22,50	22,41
– Otro motivo	15,24	10,46	10,72	12,18	7,52			15,27	14,00
De acceso+egreso (€/hora)	–	–	30,34	37,14			46,44		46,45
– Acceso+egreso <60’	–	–	25,96	30,69			40,13		39,50
– Acceso+egreso >60’	–	–	42,78	51,79			61,31		61,60
De espera (€/hora)	–	–	6,75	7,98			10,17		–
Entre dos servicios (€/hora)	–	–	2,64	3,12			3,98		3,92
De retraso (€/hora)	–	–	–	–			59,34		64,83
Por pasar de comodidad baja a alta (€)	–	–	–	–			8,54		–
Fuente: Elaboración propia									

debe a que, en este tipo de viajes, donde los horarios de salida son perfectamente conocidos por los viajeros, el tiempo de retraso sobre el horario previsto es el que mayor desutilidad produce. De hecho, empieza a ser común que las compañías (especialmente las aerolíneas) ofrezcan garantía de puntualidad a sus clientes entre otras estrategias competitivas.

Lo anterior subraya la importancia del diseño de mecanismos que permitan obtener la disposición a pagar por la puntualidad. La no inclusión del tiempo de retraso en la especificación del modelo, de forma aislada del resto de los componentes del tiempo total de viaje, produciría sin duda resultados sesgados ya que, los individuos tenderían a confundir el efecto negativo del retraso con las otras componentes del tiempo de viaje⁹.

También se ha obtenido para los viajeros de avión la disposición a pagar por aumentar la comodidad. De acuerdo a los niveles considerados en el diseño de Preferencias Declaradas, se han definido escenarios donde la comodidad actual del avión adquiere un estándar similar a la del AVE, considerando que los asientos de los viajeros son más espaciosos. Al especificar la comodidad interactuando con el tiempo de viaje, la disposición a pagar por incrementar la comodidad depende de la duración del viaje. El valor obtenido es de 8,54 euros para el tipo de viaje analizado, con una duración aproximada (en el vehículo) de una hora.

El signo positivo del parámetro θ_{CA-t_v} indica además que la disposición a pagar aumenta con la duración del viaje en una proporción igual al valor del parámetro, siempre que se consideren variaciones marginales del tiempo de viaje. Del mismo modo, las reducciones en el tiempo de viaje disminuyen la disposición a pagar por aumentar la comodidad atenuando, por tanto, el efecto de dicha variable.

También, cabe destacar, que a pesar de que la disposición a pagar por variaciones en la comodidad no es muy alta en comparación con el resto de valores obtenidos para otros atributos, su incidencia sobre la percepción del tiempo de viaje y, por consiguiente, sobre la disposición a pagar por ahorrar éste sí es relevante.

Las disposiciones a pagar por el AVE en el corredor Madrid-Barcelona son, en la mayoría de los casos, superiores a las obtenidas en el otro corredor. Estos valores se han obtenido a partir de la base de datos de Preferencias Declaradas que está formada por usuarios de avión que, en general, poseen una renta superior al resto, sesgando al alza ligeramente el valor de la disposición a pagar. Lo ideal hubiera sido plantear otros experimentos de Preferencias Declaradas que enfrentaran al AVE al resto de los modos de transporte. En este trabajo no se consideró oportuno, dado que el avión es el modo dominante en el corredor y los efectos de este sesgo sobre la evaluación económica de la línea serían mínimos, y en todo caso siempre favorable al AVE.

(9) Es posible que las elevadas disposiciones a pagar por ahorrar tiempo de viaje que aparecen para este mismo corredor en González-Savignat (2004), puedan estar influidas por la omisión de este factor.

2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN PÚBLICA EN ALTA VELOCIDAD

2.1. *Evaluación de la construcción de una nueva línea*

Aunque los efectos de la construcción de infraestructura ferroviaria de alta velocidad son múltiples y complejos, pueden realizarse algunas simplificaciones y considerar que este tipo de proyectos tienen como objetivos principales reducir los tiempos de viaje, aumentando simultáneamente su calidad, reducir la congestión en carretera y aeropuertos, y reducir las externalidades negativas de los modos alternativos, que pierden tráfico en favor del nuevo modo de transporte. Junto a estos efectos económicos directos, suelen añadirse otros efectos indirectos como el aumento de la actividad económica en las ciudades beneficiadas por la alta velocidad.

En los casos en los que la saturación de la red ferroviaria convencional requiere ampliaciones de capacidad, la construcción de una nueva línea de alta velocidad ha de evaluarse como una alternativa frente a la mejora y ampliación de la convencional, con el beneficio adicional de liberar espacio para el transporte de mercancías. A pesar de lo anteriormente expuesto, los beneficios directos contemplados en este trabajo se limitan a los ahorros de tiempo y mejoras en la calidad, ya que los pasillos de tráfico analizados no presentan problemas de saturación que requieran de capacidad ferroviaria adicional.

En esta sección, se analiza qué condiciones deben cumplirse para que la infraestructura ferroviaria de alta velocidad pueda ser considerada una inversión socialmente deseable, al menos en su dimensión estrictamente económica. El problema se modeliza inicialmente como suma de excedentes de los productores y consumidores, justificándose su aplicación en términos de cambios en la disposición a pagar y en los recursos, ignorando por tanto las transferencias de renta.

Esta última aproximación para la evaluación suele concentrarse en la medición de los ahorros de tiempo que se producen como consecuencia de la inversión en un modo de transporte más rápido, a lo que se añade el beneficio de los viajes generados y las externalidades. Por esta razón, cuando el proyecto que se evalúa supone un cambio significativo en la calidad, no basta con limitarse a la medición de ahorros de tiempo [Abelson y Hensher (2001)]. En los proyectos de alta velocidad los usuarios suelen considerar la calidad como una de las razones por las que eligen esta alternativa de transporte frente a las otras opciones disponibles. En este trabajo, se incluye la variable calidad en el modelo de evaluación propuesto.

Para evaluar la rentabilidad social de invertir en alta velocidad, conviene considerar esta actuación pública como una inversión en infraestructura fija y en equipo móvil especializado, que requiere posteriormente para su operación incurrir en costes de mantenimiento, de energía, materiales y factor trabajo, algunos fijos y otros dependientes del volumen de demanda. La inversión inicial y los costes anuales permiten obtener un flujo de beneficios durante la vida útil de la infraestructura.

Hay dos efectos que se asocian a la lista de beneficios de la inversión en alta velocidad que en este trabajo no se consideran: el impacto medioambiental y el efecto territorial. El impacto medioambiental de la inversión en alta velocidad apunta en dos direcciones, una de ellas es la descongestión del tráfico aéreo y el terrestre. En estos casos, su contribución a la reducción de las externalidades ne-

gativas de estos modos de transporte podría ser muy positiva, aunque no hay que olvidar que se requiere un trasvase significativo de viajeros de dichos modos de transporte y además que la utilización de la capacidad sea suficientemente alta para que compense la contaminación asociada a la producción de energía eléctrica que consume el tren y la contaminación acústica; sin olvidar, que su trazado supone un efecto barrera en el territorio además de las vías de acceso que necesita para su construcción, mantenimiento y posterior operación. El saldo neto de estos efectos depende del valor de las zonas por las que pasa, del número de afectados, de la magnitud y beneficios del tráfico desviado, etc¹⁰.

En cuanto a los efectos territoriales y de desarrollo regional, la dificultad de evaluación *ex ante* es notable. Debe subrayarse que el signo esperado de estos efectos no es necesariamente positivo. Las infraestructuras ferroviarias son de ida y vuelta, y sus efectos económicos pueden ser más favorables para la región rica que para la pobre, para el centro que para la periferia [Puga (2002); Krugman y Venables (1996)]. Además el efecto dinamizador de las líneas de alta velocidad suele ser más polarizado (efecto túnel) que el ferrocarril convencional (efecto corredor) [Gutiérrez (2004)]. En el caso de la línea Madrid-Barcelona se argumenta que los efectos territoriales reforzarán la posición de Madrid, que es donde se concentran los centros de decisión públicos y privados al mejorar la accesibilidad de Barcelona desde Madrid [Vives (2001)].

2.2. Un modelo simplificado de evaluación

Los costes de construir la infraestructura ferroviaria y los de mantenimiento y operación posterior pueden expresarse como:

$$CT = I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(C(q_t) + C_t)}{(1+i)^t}, \quad [3]$$

donde:

CT : Valor actual de los costes totales

I_0 : Inversión en construcción

$C(q_t)$: Costes variables anuales de explotación dependientes de q

C_t : Costes fijos anuales de mantenimiento y operación en el año t

T : Vida del proyecto

i : tasa social de descuento

q_t : volumen de demanda en el año t

Frente a estos costes, los beneficios de la alta velocidad se limitan, por simplicidad, a una disminución del tiempo de viaje y a una mejora en la calidad. Hay que recordar que la evaluación de un proyecto de inversión puede realizarse su-

(10) Una evaluación reciente muy favorable sobre la construcción de infraestructuras de alta velocidad en el Reino Unido concluye con la siguiente consideración respecto al impacto medioambiental de la alta velocidad: "...un proyecto que requiere tal cantidad de nueva infraestructura tendrá inevitablemente efectos negativos significativos sobre el paisaje, la biodiversidad y el patrimonio, con beneficios relativamente pequeños sobre la calidad del aire y el nivel de ruido" [Department of Environment, Transport and the Regions (2004)].

mando el cambio en los excedentes de los distintos agentes afectados; o bien, ignorando las transferencias, concentrando la atención en el cambio de la disposición a pagar por el bien y en los recursos que se utilizan o se liberan. Los beneficios anuales brutos del tren son $B(q_t)$ y, al igual que los costes anuales variables $C(q_t)$, suponemos que dependen del volumen de demanda.

La inversión en alta velocidad sería rentable si se cumple que el valor actual neto (VAN) es mayor que cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(B(q_t) - C(q_t))(1 + \theta)^{t-1} - C_t}{(1 + i)^t}, \quad [4]$$

donde θ es una tasa constante de crecimiento anual.

De acuerdo con la formulación de descuento exponencial, y siempre que se cumpla que $i > \theta$, podemos expresar el VAN como¹¹:

$$VAN = -I_0 + \frac{B(1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T})}{i - \theta} - C_t \left(\frac{1 - (1 + i)^{-T}}{i} \right), \quad [5]$$

donde $B = B(q_t) - C(q_t)$, siendo B , por tanto, el beneficio anual neto de costes dependientes del volumen de demanda q , pero bruto de los costes anuales que no varían con q . Para que el proyecto sea socialmente rentable debe cumplirse la siguiente condición:

$$\frac{B(1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T})}{i - \theta} > I_0 + C_t \left(\frac{1 - (1 + i)^{-T}}{i} \right). \quad [6]$$

Operando en [6],

$$\frac{B}{I_0} > \frac{i - \theta}{1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T}} + \frac{C_t}{I_0} \frac{i - \theta}{i} \frac{1 - (1 + i)^{-T}}{1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T}}. \quad [7]$$

Para interpretar la condición [7], es útil suponer que la vida del proyecto es infinita. En ese caso, la expresión [7] se simplifica notablemente, ya que dicho supuesto implica que $(1 + \theta)^T (1 + i)^{-T}$ tiende a cero. Teniendo en cuenta que $B = B(q_t) - C(q_t)$,

$$\frac{B(q_t) - C(q_t)}{I_0} > i - \theta + \frac{C_t}{I_0} \frac{i - \theta}{i}. \quad [8]$$

(11) Siguiendo la práctica habitual se supone que los beneficios netos anuales y los costes fijos anuales se producen al final de cada año. En el caso de los servicios ferroviarios de alta velocidad, podría tener más sentido considerar que las cuantías monetarias de beneficios y costes se materializan a lo largo del año, por lo que podría utilizarse un perfil temporal en el que los beneficios y costes son diarios, o que se sitúan en la mitad del año. El efecto sobre el resultado de la evaluación en la línea Madrid-Barcelona no es significativo.

La expresión [8] recoge lo esencial para que la inversión en infraestructura de alta velocidad sea rentable. Los beneficios anuales, netos de costes variables, expresados en términos relativos como tasa de rentabilidad social de la inversión, han de ser superiores a la diferencia entre la tasa social de descuento y la tasa de crecimiento anual de los beneficios netos anuales, más una proporción (que aumenta con i y disminuye con θ) del porcentaje de los costes fijos de mantenimiento y operación sobre la inversión.

Teniendo en cuenta las indivisibilidades que afectan a una infraestructura de alta velocidad, I_0 y C_t toman valores poco sensibles al volumen de demanda (para una determinada longitud de línea). Cuanto más altos son los valores que toman estos parámetros, más difícil será que se cumpla la desigualdad estricta en [8]. Lo mismo ocurre con el coste variable, aunque éste es una función del volumen de demanda. La clave está por tanto en los beneficios que, para un valor del tiempo determinado, dependen del número de usuarios durante la vida del proyecto. El nivel de demanda (el volumen inicial y su tasa de crecimiento) aparece como el determinante básico de que se cumpla la condición de rentabilidad social en [8].

Para valores de θ mayores que cero e inferiores a la tasa de descuento, y para períodos de vida finitos, la interpretación anterior sobre la importancia de la demanda sigue siendo válida. Volviendo a [7], se observa que cuando se considera una vida útil finita el segundo miembro de la expresión aumenta con lo que la condición de rentabilidad se hace más exigente¹². El papel de la tasa de crecimiento de la demanda (θ) tiene un efecto positivo sobre la rentabilidad, al disminuir la tasa exigible en el segundo miembro de [7].

Excedente de los usuarios y de los productores

Consideremos el caso de un individuo que viaja entre dos ciudades, entre las que se proyecta construir una línea de alta velocidad. La utilidad de dicho individuo sin el proyecto depende de los precios generalizados de los bienes y servicios (entre los que se encuentra la alternativa de transporte que utiliza cuando viaja entre las dos ciudades) y de su renta.

Si el proyecto es aprobado y se construye y explota la línea de alta velocidad, se espera una reducción del precio generalizado de viajar. El tiempo de viaje disminuye, aumentando también la calidad del servicio (mayor confort, por ejemplo), aunque puede que, simultáneamente, el componente monetario del precio generalizado aumente, al ser la tarifa del tren de alta velocidad mayor que la del modo de transporte utilizado previamente.

Ante la nueva alternativa disponible, si el individuo cambia de modalidad de transporte es porque su utilidad es mayor en la línea de alta velocidad al agregar todos los componentes del precio generalizado¹³. Supondremos que los usuarios

(12) Por ejemplo, con B_t constante ($\theta = 0$), una tasa de descuento del 5% y $T = 30$, el beneficio neto anual, expresado como porcentaje de la inversión, debería superar el 6,5%, frente al 5% cuando T era infinito (expresión).

(13) Lo que podría ocurrir incluso aunque el individuo no ahorrase tiempo al cambiar a la alta velocidad (por ejemplo, desde el avión). Para que esto ocurriese bastaría con que el precio del tren de alta velocidad fuese suficientemente bajo como para compensar el mayor tiempo total de viaje.

de la alta velocidad tienen cinco procedencias: avión (*a*), autobús (*b*), coche (*c*), tren convencional (*f*) y viajes adicionales de nueva generación como consecuencia de la introducción de un nuevo modo de transporte.

Sin el proyecto (subíndice 0), el coste generalizado de viajar en el modo de transporte *i* es g_{i0} , realizándose q_{i0} viajes. El coste generalizado sin el proyecto está compuesto por el componente monetario p_{i0} (tarifa si el modo es público, coste monetario si es vehículo privado) y el valor del tiempo total invertido en el viaje, y otros elementos de desutilidad asociados al modo de transporte *i* ($g_{i0} - p_{i0}$).

La variación experimentada en el excedente de los usuarios existentes tras la introducción de la alta velocidad puede expresarse como:

$$\sum_i (g_{i0} - g_{ih}) q_{i0}, \quad [9]$$

donde g_{ih} es el coste generalizado en alta velocidad para el individuo procedente del modo *i*.

A esta variación del excedente de los usuarios existentes, hay que añadir el excedente de los nuevos usuarios (o mejor sería decir, de los viajes adicionales realizados por pasajeros existentes y nuevos usuarios):

$$\sum_i \frac{1}{2} (g_{i0} - g_{ih}) (q_{ih} - q_{i0}). \quad [10]$$

Excedente de los operadores:

$$\sum_i (p_h q_{ih} - p_{i0} q_{i0} + C_{i0}) - C_h. \quad [11]$$

Beneficios anuales que resultan de la diferencia de ingresos con y sin el proyecto menos el coste anual de la alta velocidad (C_h) más los costes evitables tras la supresión de servicios en el modo *i* (C_{i0}).

Los beneficios netos de un año (netos de los costes anuales de la alta velocidad, pero sin restar aún los costes de inversión) se obtienen sumando el cambio en los excedentes de los usuarios y de los productores. Sumando [9], [10] y [11] se obtiene:

$$B^* = \sum_i \frac{1}{2} (g_{i0} - g_{ih}) (q_{i0} + q_{ih}) + \sum_i (p_h q_{ih} - p_{i0} q_{i0} + C_{i0}) - C_h. \quad [12]$$

$i = a, b, c, f$

Debe recordarse que la expresión [12] recoge los beneficios sociales directos de un año como consecuencia de la introducción de la alta velocidad. Posteriormente, hay que agregar los beneficios durante cada año de la vida del proyecto, homogeneizándolos mediante los factores de descuento correspondientes, y finalmente restarle el coste de construcción (I_0) de acuerdo con la expresión [4].

Suponiendo que los operadores del tren convencional, el avión, y el autobús obtienen beneficios normales en el corredor, que todos sus costes son recuperables al cesar la actividad, y que los impuestos son idénticos en todos los modos de transporte, incluido el tren de alta velocidad, el beneficio anual, expresado como

suma de excedentes en [12] puede formularse como ahorro de recursos y cambios en la disposición a pagar:

$$B^* = \sum_i (v_i + \phi_i)(t_{i0} - t_{ih})q_{i0} + \sum_i \left[\frac{1}{2}(g_{i0} - g_{ih}) + p_h \right] (q_{ih} - q_{i0}) + \sum_i C_{i0} - C_h, \quad [13]$$

donde: ϕ_i es la disposición a pagar por hora por la mejora de calidad, y donde p_h es el precio del tren de alta velocidad, impuestos incluidos.

Conviene recordar aquí los supuestos sobre los que descansa el modelo, con el fin de interpretar adecuadamente los resultados que se obtengan de su aplicación sobre la conveniencia de construir o no la infraestructura.

El primer supuesto es que no existen otros beneficios que los derivados de ahorros de tiempo por trasvase de tráfico desde otros modos de transporte, el valor del nuevo tráfico generado, los aumentos de calidad y los ahorros de recursos en los modos que pierden tráfico¹⁴.

El segundo es que no existen restricciones presupuestarias que eleven el coste de oportunidad de los fondos públicos requeridos y que eleven los costes de inversión en alta velocidad. En el caso de que un euro destinado a inversión ferroviaria tenga un coste para la economía (por la distorsión causada) superior a un euro (precio sombra) habría que multiplicar la inversión por dicho precio sombra.

El tercer supuesto consiste en realizar la evaluación como si se tratara de aceptar o rechazar, siendo por tanto el $VAN > 0$ condición suficiente para invertir en el proyecto, lo que no ocurriría si hubiese varios proyectos compitiendo por fondos públicos escasos, en cuyo caso un VAN positivo sólo sería condición necesaria.

Finalmente, el cuarto supuesto es que la eficiencia es el único criterio relevante. El análisis realizado en estas páginas se fundamenta en cómo afecta la inversión a la asignación de recursos. Otras referencias que pueda tener el gobierno, como la equidad territorial o la oportunidad política, no son contempladas en este trabajo.

3. DEMANDA Y RENTABILIDAD SOCIAL EN LA LÍNEA MADRID-BARCELONA

Aunque no se dispone de una información detallada de los costes de los distintos modos de transporte afectados por la introducción de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona, la encuesta realizada para este trabajo durante los meses de abril y mayo de 2004 a los viajeros de los modos transporte que operan en el corredor de tráfico analizado (véase sección 2), y los datos de costes de la línea, permiten realizar algunos cálculos y estimar, bajo una serie de supuestos simplificados, el mínimo volumen de demanda que se requiere para que la inversión en alta velocidad sea socialmente rentable en esta línea.

(14) Las evaluaciones realizadas para la introducción de alta velocidad en el Reino Unido insisten en que el que hoy, y no en las décadas anteriores, tenga sentido invertir selectivamente en alta velocidad desde Londres hacia el norte, se fundamenta en que la alta velocidad añade capacidad ferroviaria en corredores en los que el tren convencional no puede ya aumentar su oferta, ligándose por tanto el beneficio de la inversión en nueva infraestructura más a la provisión de capacidad adicional que a los ahorros de tiempo [véase Steer Davies Gleave (2004); Department of Environment, Transport and the Regions (2004)].

Se distinguen dos trayectos principales: Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona¹⁵. En el primer caso se ha obtenido información de demanda basada en Preferencias Reveladas ya que el tren de alta velocidad estaba en funcionamiento cuando se entrevistó a los usuarios. En el caso de los viajes entre Madrid y Barcelona, con tramos aún en construcción, la información procede de las entrevistas realizadas a los usuarios de otros modos en el corredor a los que se les preguntó sobre la nueva opción ferroviaria bajo distintas hipótesis de precio y nivel de servicio (se trata por tanto de Preferencias Declaradas).

A partir de la encuesta puede calcularse el coste generalizado de viaje en cada modo de transporte y estimar el valor de los ahorros de tiempo de los viajeros que dejan el modo de transporte habitual y pasan al tren de alta velocidad, y también qué peso tiene cada modo de transporte en el total de tráfico desviado al tren de alta velocidad (véase sección 2). Estos valores son fundamentales para evaluar la rentabilidad económica de la inversión en alta velocidad. Los cuadros 11, 12, 13 y 14 presentan dicha información para los dos trayectos sobre los que basamos la evaluación (Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona). La información contenida en los cuadros 11 a 14 muestra que la magnitud de los beneficios derivados de ahorros de tiempo (incluyendo viaje, espera, acceso y egreso) por la introducción de la alta velocidad depende de los ahorros de tiempo que los usuarios obtienen al dejar de utilizar el modo de transporte convencional y pasar a la nueva alternativa de transporte, del número de dichos usuarios y del valor real del tiempo ahorrado.

Puede observarse cómo el mayor ahorro de tiempo corresponde al caso de los viajeros que dejan de utilizar el autobús (algo más de dos horas por viaje en el Madrid-Zaragoza y cinco en el Madrid-Barcelona) aunque su efecto sobre los beneficios totales no es significativo, ya que menos del 2% de los viajeros del AVE proceden del transporte en autobús.

Cuadro 11: AHORROS DE TIEMPO EN EL TRAYECTO MADRID-ZARAGOZA

	Ahorros de tiempo (horas)				
	Avión	Autobús	Coche (conductor)	Coche (acompañante)	Tren convencional
Acceso	0,15	0,03	-0,46	-0,46	0,00
Espera	0,62	0,11	-0,38	-0,38	0,00
Viaje	-1,19	2,13	1,40	1,33	1,86
Egreso	0,14	-0,08	-0,56	-0,56	0,00
Total	-0,27	2,18	0,00	-0,08	1,86

Fuente: Elaboración propia

(15) Otros trayectos en la línea se consideran representados por los dos elegidos. En cualquier caso los beneficios que se han estimado de las disposiciones a pagar de los usuarios encuestados serían superiores a los que podrían resultar de incorporar trayectos más cortos. El sesgo que puede introducir la elección de los trayectos refuerza las conclusiones del trabajo como puede verse en esta sección.

De igual manera, la previsión de la procedencia de los viajeros en el futuro trayecto Madrid-Barcelona sitúa al avión como el modo más afectado, proporcionando un 91% de los viajeros futuros desviados de otros modos (es decir, excluyendo el tráfico generado): sin embargo, no existen ahorros de tiempo de los usuarios que proceden del avión, ya que pierden aproximadamente 15 minutos por el cambio.

Cuadro 12: AHORROS DE TIEMPO EN EL TRAYECTO MADRID-BARCELONA

Ahorros de tiempo (horas)					
	Avión	Autobús	Coche (conductor)	Coche (acompañante)	Tren convencional
Acceso	0,11	-0,04	-0,49	-0,49	0,00
Espera	0,74	0,43	-0,23	-0,23	0,23
Viaje	-1,81	5,15	3,14	3,36	2,74
Egreso	-0,02	-0,09	-0,64	-0,64	0,00
Total	-0,99	5,46	1,78	1,99	2,97

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13: PROCEDENCIA DE LOS VIAJEROS DESVIADOS LÍNEA MADRID-BARCELONA

	Madrid-Barcelona	Madrid-Zaragoza
Avión	91,07%	3,85%
Coche	6,63%	23,08%
Autobús	0,61%	1,92%
Tren convencional	1,68%	71,15%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14: VALOR DEL TIEMPO DE LOS VIAJEROS DEL AVE¹⁶

Valor del tiempo (€/h)		
	Madrid-Barcelona	Madrid-Zaragoza
Acceso+egreso	46,45	29,24
Espera	19,37	19,37
Viaje	19,33	14,36
Calidad	8,54	8,54

Fuente: Elaboración propia

(16) Dado que en el diseño de Preferencias Declaradas no se incluyó el tiempo de espera, se ha tomado para el corredor Madrid-Barcelona el valor del tiempo de espera estimado para el caso Madrid-Zaragoza. De forma análoga, al no especificar la comodidad en el corredor Madrid-Zaragoza se ha tomado para dicho corredor la estimación obtenida en el caso Madrid-Barcelona.

Posteriormente puede comprobarse cómo al ponderar el tiempo de espera y de viaje por su valor correspondiente, el resultado final es de un beneficio por ahorro de tiempo prácticamente nulo para los individuos que proceden del avión, lo que no quiere decir que no existan otros beneficios derivados del trasvase de viajeros del avión al AVE, principalmente el valor neto de viajes adicionales de los usuarios del avión que ahora utilizan AVE y ahorros de costes derivados de la supresión de servicios¹⁷.

El hecho de que los usuarios tomen la decisión de cambiar de modo se explica porque el coste generalizado es menor, ya que si bien el tiempo total de viaje es mayor, o bien el precio es menor (no siempre en el experimento de preferencias declaradas), la calidad percibida es mayor, y por último pueden existir otros factores que los individuos consideran en su decisión y que el evaluador desconoce.

Con la finalidad de calcular la demanda necesaria para que el valor actual neto del proyecto sea mayor que cero, se realizan los siguientes supuestos simplificados:

- Todos los modos de transporte alternativos existentes en el corredor operan en mercados competitivos u obtienen beneficios normales en caso de estar regulados.
- Los precios de mercado en construcción y operación del AVE son iguales a los costes de oportunidad. Esto perjudica al proyecto al no descontar los impuestos, pero lo beneficia al no introducir un multiplicador sombra de los fondos públicos mayor que la unidad.
- Puede que se dé una reducción de la congestión o de los accidentes en el pasillo de tráfico en el que se construye la nueva línea de alta velocidad, pero dados los datos de la procedencia de los viajeros y su volumen no cabe esperar que su efecto sea significativo.
- Existen varios tipos de efectos indirectos derivados de la construcción y operación de la alta velocidad, algunos que se añaden a los beneficios directos del proyecto, y otros que los reducen, el efecto final se considera poco significativo¹⁸.
- Los beneficios de la línea proceden básicamente de ahorros de tiempo, aumento de calidad para los usuarios existentes y la disposición a pagar del tráfico generado, y de ahorros de costes en los modos alternativos que reducen su actividad.

Con estos supuestos, los beneficios del primer año en uno de los modos de transporte, después de la introducción de la alta velocidad, son los que recoge la ecuación [13]. Denominando α a la proporción de viajes generados con relación a los desviados, la expresión [13] puede aproximarse como:

(17) Tampoco se tiene en cuenta en este trabajo el perjuicio ocasionado por la reducción de frecuencias para los usuarios que se mantienen utilizando el avión (o el autobús): una externalidad negativa para los usuarios que no se cambian de modo de transporte.

(18) La dificultad de estimar el signo de los efectos indirectos es considerable. Las relaciones de complementariedad y sustituibilidad del mercado analizado con otros mercados secundarios, y la presencia de impuestos, subvenciones, externalidades y poder de mercado hacen que el saldo final sea muy difícil de determinar.

$$B^* = \sum_i [(v_i + \phi_i)(t_{i0} - t_{ih})q_{i0} + C_{i0}](1 + \alpha) - C_h. \quad [14]$$

Denominando:

$$V = \frac{\sum_i (v_i + \phi_i)q_{i0}}{\sum_i q_{i0}}$$

$$\Delta t = \frac{\sum_i (t_{i0} - t_{ih})q_{i0}}{\sum_i q_{i0}}$$

y sustituyendo en [14]:

$$B^* = (V\Delta tQ + C_0)(1 + \alpha) - C_h, \quad [15]$$

donde:

$$Q = \sum_i q_{i0} \text{ y } C_0 = \sum_i C_{i0}$$

Sustituyendo [15] en [7], teniendo en cuenta que C_h incluye C_q y C_r , y despejando Q , se obtiene una formulación operativa para calcular el umbral de demanda requerido para que la alta velocidad genere beneficios sociales superiores a sus costes:

$$Q > \frac{1}{V\Delta t(1 + \alpha)} \left[\left[\frac{i - \theta}{1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T}} \right] I_0 + C_t \frac{i - \theta}{i} \frac{1 - (1 + i)^{-T}}{1 - (1 + \theta)^T (1 + i)^{-T}} + \right. \\ \left. + C_q - C_0(1 + \alpha) \right]. \quad [16]$$

Para calcular el nivel de demanda mínimo en la desigualdad [16] para la línea Madrid-Barcelona se requieren los costes¹⁹, el valor del tiempo medio y el ahorro de tiempo medio por viajero. Como la información disponible está diferenciada para los trayectos Madrid-Zaragoza y Madrid-Barcelona y la mayor proporción de los costes son conjuntos, hemos calculado los valores medios de la línea suponiendo alternativamente que el 50% de los viajeros corresponde a ambos trayectos, o que el 75% corresponde al Madrid-Zaragoza.

(19) Los costes se han estimado a partir de datos oficiales, de la información contenida en Barrón de Angoit (2004) y de la evaluación de la línea Madrid-Sevilla [de Rus e Inglada (1993, 1997)]. Los supuestos sobre los costes de la línea están en todo caso subestimados. En millones de euros: $I_0 = 8.052$; valor residual = $0,5I_0$ (año 40); VAN del material móvil = $0,2I_0$; $C_t = 43,6$; $C_q = 93,6$; $C_0 = 0,5(C_q + C_t)$.

Cuadro 15: BENEFICIO SOCIAL MEDIO POR VIAJERO EN EL PRIMER AÑO POR AHORROS DE TIEMPO DEL TRÁFICO DESVIADO LÍNEA MADRID-BARCELONA

Beneficios del ahorro de tiempo del tráfico desviado Madrid-Barcelona (€)					
	Avión	Autobús	Coche (conductor)	Coche (acompañante)	Tren convencional
Acceso+egreso	8,63	-1,36	-29,82	-29,82	0,00
Espera	12,07	2,05	-7,43	-7,43	0,00
Viaje	1,26	30,52	20,10	19,07	26,65
Total	21,96	31,21	-17,15	-18,18	26,65
Beneficio medio por viajero			20,4		
Beneficios del ahorro de tiempo del tráfico desviado Madrid-Zaragoza (€)					
	Avión	Autobús	Coche (conductor)	Coche (acompañante)	Tren convencional
Acceso+egreso	4,06	-5,70	-52,62	-52,56	0,00
Espera	14,31	8,41	-4,46	-4,46	4,46
Viaje	-11,10	99,49	60,78	64,88	52,88
Total	7,26	102,20	3,70	7,80	57,35
Beneficio medio por viajero			8,45		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16: BENEFICIO SOCIAL MEDIO POR VIAJERO EN EL PRIMER AÑO LÍNEA MADRID-BARCELONA

Beneficio social medio por viajero (€)			
Procedencia		a = 0,25	a = 0,5
M-Z / M-B	50% / 50%	12,45	14,43
M-Z / M-B	75% / 25%	14,45	17,42

M-B: Madrid-Barcelona.

M-Z: Madrid-Zaragoza.

a: porcentaje de tráfico generado sobre el desviado.

Fuente: Elaboración propia

Estos supuestos afectan considerablemente a los resultados, porque como puede comprobarse en el cuadro 16 el beneficio medio por viajero en el trayecto Madrid-Zaragoza es superior al Madrid-Barcelona. La introducción de trayectos más cortos sólo reduciría los beneficios, con respecto al Madrid-Zaragoza, en esta simulación ya que, cuanto más corto es el viaje menores serán los beneficios por desviación de viajeros desde el tren convencional y desaparecerían los del avión.

Los cuadros 17 y 18 recogen los resultados de las estimaciones realizadas bajo el supuesto de una vida útil de 40 años y una tasa social de descuento del 5%²⁰, mostrando que los ahorros de tiempo, y lo que los usuarios están dispuestos a pagar por ellos, son de bajo valor; y por tanto, se requiere desviar a un número considerable de viajeros, y generar un volumen suficientemente elevado de viajes, para que la inversión encuentre justificación desde un punto de vista estrictamente económico.

El cuadro 17 muestra el número de viajes que habría que desviar de otros modos de transporte, en el primer año de funcionamiento, para que la inversión en alta velocidad en la línea Madrid-Barcelona fuese socialmente rentable, bajo diferentes supuestos sobre la composición del tráfico en los dos trayectos elegidos, la tasa de crecimiento de los beneficios netos anuales y la proporción de tráfico generado.

Por ejemplo, si la mitad de los viajeros desviados proceden del trayecto Madrid-Barcelona y se genera el 50% de tráfico, con relación al desviado, y la tasa de crecimiento anual acumulativo de los beneficios netos es del 4%, se requeriría atraer al tren de alta velocidad 13,8 millones de viajeros desde el coche, autobús, carretera y tren convencional lo que supondría transportar un total de 20,8 millones de pasajeros en el primer año de funcionamiento de la línea (cuadro 18).

Suponiendo que en el tramo Madrid-Zaragoza, al igual que en el Zaragoza-Barcelona, se transportaran 2 millones de viajeros, y en el Madrid-Barcelona 6 millones, nos situaríamos en una cifra de 10 millones de pasajeros en el primer año de explotación de la línea, lo que nos da una idea de la dificultad de alcanzar una utilización de la línea compatible con la rentabilidad social.

Los gráficos 3, 4 y 5 muestran las isocuantas que resultan de un rango amplio de ahorros y valores del tiempo, de generación de viajeros en la línea Madrid-Barcelona, y de tasas anuales de crecimiento de la demanda. Cuanto mayor es el valor del tiempo ahorrado y la proporción de tráfico inducido sobre el desviado, menor cantidad de demanda desviada de otros modos se requiere para un VAN positivo. De nuevo se aprecia que se requerirían valores del tiempo sensiblemente más elevados que los que se infieren de la encuesta y crecimientos anuales muy altos de la demanda para llegar a cifras razonables para la demanda inicial.

Es importante subrayar que las isocuantas representan el volumen de viajeros desviados en el primer año que corresponden a diferentes combinaciones de beneficio medio por viajero y porcentaje de viajeros generados. Situados en una isocuenta, y para un rango de generación de tráfico esperada, es posible estimar el intervalo de beneficio medio por viajero que se requiere para mantenerse en el umbral de rentabilidad social.

(20) La tasa social de descuento utilizada es la recomendada en la guía de análisis coste-beneficio de la DG Regio [European Commission (1997)].

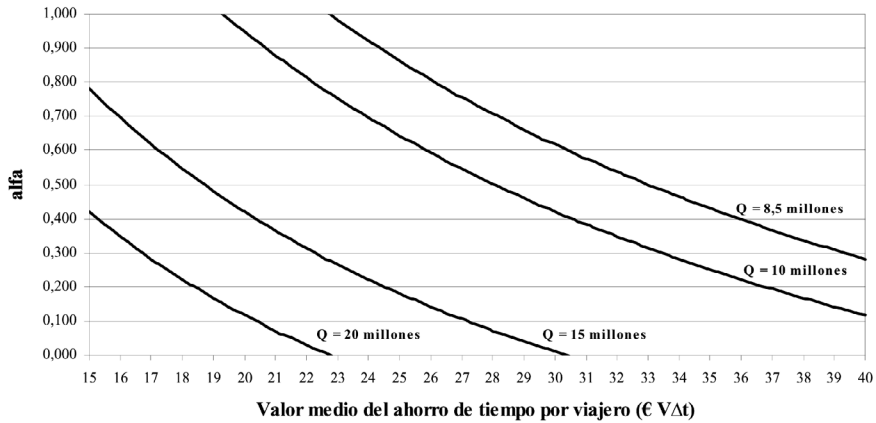
Cuadro 17: CANTIDAD MÍNIMA (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN=0
LÍNEA MADRID-BARCELONA (TASA SOCIAL DE DESCUENTO $i = 5\%$)

Cantidad mínima de viajeros desviados necesaria para VAN=0					
		$\theta = 2\%$		$\theta = 3\%$	
Procedencia		a = 0,25	a = 0,5	a = 0,25	a = 0,5
M-Z / M-B	50% / 50%	24.280.233	19.440.973	20.766.800	16.513.111
M-Z / M-B	75% / 25%	20.114.099	16.105.185	17.203.519	13.679.702
M-B: Madrid-Barcelona.					
M-Z: Madrid-Zaragoza.					
θ : tasa de crecimiento de los beneficios netos.					
a: porcentaje de tráfico generado sobre el desviado.					
VAN: valor actual neto.					
Fuente: Elaboración propia					

Cuadro 18: CANTIDAD MÍNIMA (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS TOTALES PARA VAN=0
LÍNEA MADRID-BARCELONA (TASA SOCIAL DE DESCUENTO $i = 5\%$)

Cantidad mínima de viajeros totales necesaria para VAN=0					
		$\theta = 2\%$		$\theta = 3\%$	
Procedencia		a = 0,25	a = 0,5	a = 0,25	a = 0,5
M-Z / M-B	50% / 50%	30.350.292	29.161.459	25.958.499	24.769.667
M-Z / M-B	75% / 25%	25.142.624	24.157.777	21.504.399	20.519.553
M-B: Madrid-Barcelona.					
M-Z: Madrid-Zaragoza.					
θ : tasa de crecimiento de los beneficios netos.					
a: porcentaje de tráfico generado sobre el desviado.					
VAN: valor actual neto.					
Fuente: Elaboración propia					

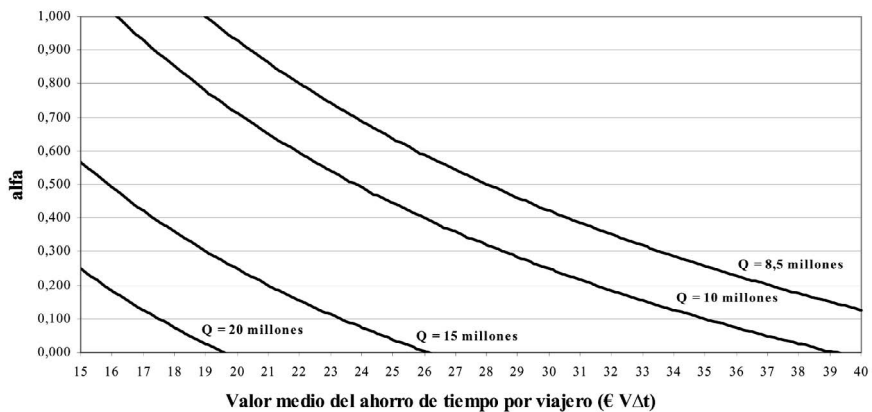
Gráfico 3: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN=0 LÍNEA MADRID-BARCELONA CON TASA DE CRECIMIENTO DEL 2% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 5%



α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo

Fuente: Elaboración propia

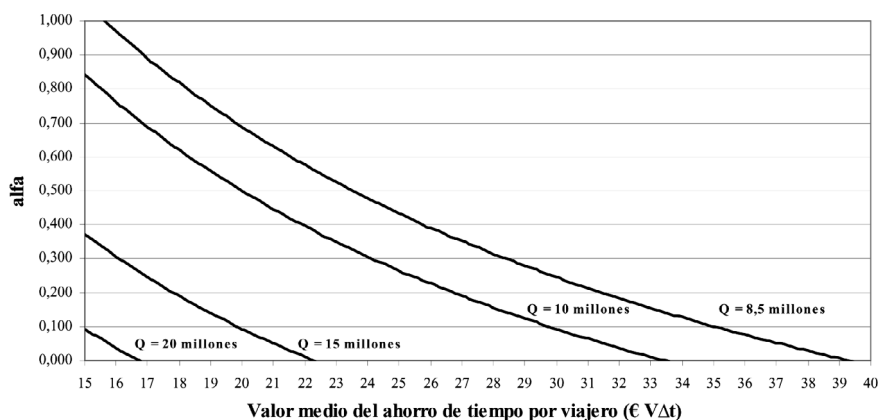
Gráfico 4: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN=0 LÍNEA MADRID-BARCELONA TASA DE CRECIMIENTO DEL 3% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 5%



α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA $VAN=0$ LÍNEA MADRID-BARCELONA TASA DE CRECIMIENTO DEL 4% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 5%



α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de un proyecto de inversión de 40 años de vida útil son muy sensibles a la tasa de descuento con la que se homogeniza el flujo de beneficios y costes. Con el fin de comprobar la sensibilidad de los resultados ante una reducción de la tasa de descuento, se han recalculado los niveles de demanda mínimos (cuadros 19 y 20) y las isocuantas (gráficos 6, 7 y 8) con una tasa de descuento del 2,5%.

Los resultados obtenidos al reducir la tasa de descuento mejoran sensiblemente, como era de esperar, al dar más peso a los beneficios futuros; sin embargo, los nuevos valores no cambian la conclusión principal obtenida en este trabajo, ya que incluso con una tasa de descuento sensiblemente inferior, el tráfico desviado que se requiere para el primer año de funcionamiento del tren de alta velocidad sigue siendo relativamente alto en comparación con los niveles actuales de tráfico (en torno al millón de pasajeros anuales) y con los que cabe esperar cuando la línea esté completada y en funcionamiento.

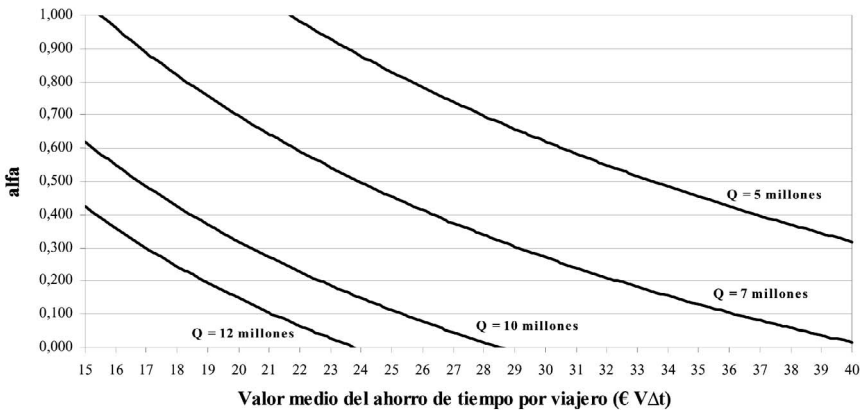
La inclusión de otros beneficios no considerados en este trabajo podría reducir el volumen necesario de pasajeros desviados de otros modos para que la inversión en alta velocidad sea socialmente rentable. Dichos beneficios podrían ser los derivados de la provisión de capacidad ferroviaria adicional en situaciones de saturación de la red convencional, los efectos de red al conectar posteriormente con Francia, el impacto positivo en los usuarios que siguen utilizando la carretera, al reducirse el número de accidentes y la congestión; sin embargo, no parece que en este corredor dichos beneficios sean lo suficientemente elevados como para modificar los resultados de manera significativa.

Este trabajo no aborda las consecuencias de equidad o de reequilibrio regional que podrían ser consideradas políticamente relevantes para la decisión de

Cuadro 19: CANTIDAD MÍNIMA (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN=0 LÍNEA MADRID-BARCELONA (TASA SOCIAL DE DESCUENTO $i = 2,5\%$)						
Cantidad mínima de viajeros desviados necesaria para VAN=0						
		$\theta = 2\%$		$\theta = 3\%$		$\theta = 4\%$
Procedencia		a = 0,25	a = 0,5	a = 0,25	a = 0,5	a = 0,5
M-Z / M-B	50% / 50%	14.881.939	11.609.061	12.379.252	9.523.488	10.205.758
M-Z / M-B	75% / 25%	12.328.415	9.617.115	10.255.152	7.889.396	8.454.598
M-B: Madrid-Barcelona.						
M-Z: Madrid-Zaragoza.						
θ : tasa de crecimiento de los beneficios netos.						
a: porcentaje de tráfico generado sobre el desviado.						
VAN: valor actual neto.						
Fuente: Elaboración propia						

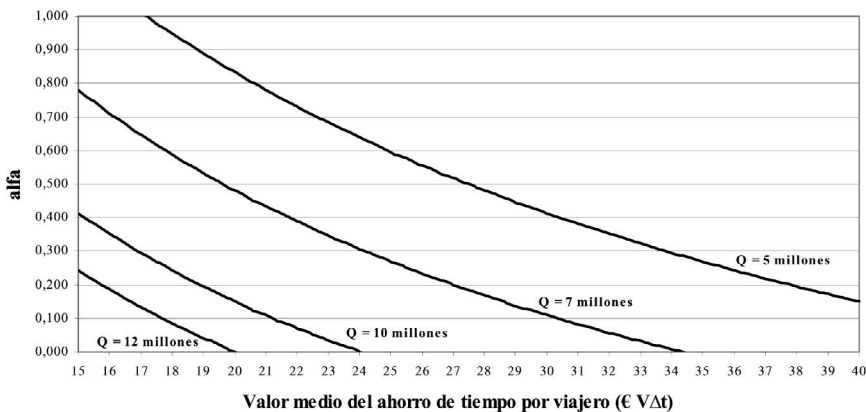
Cuadro 20: CANTIDAD MÍNIMA (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS TOTALES PARA VAN=0 LÍNEA MADRID-BARCELONA (TASA SOCIAL DE DESCUENTO $i = 2,5\%$)						
Cantidad mínima de viajeros totales necesaria para VAN=0						
		$\theta = 2\%$		$\theta = 3\%$		$\theta = 4\%$
Procedencia		a = 0,25	a = 0,5	a = 0,25	a = 0,5	a = 0,5
M-Z / M-B	50% / 50%	18.602.423	17.413.591	15.474.065	14.285.232	12.757.197
M-Z / M-B	75% / 25%	15.410.519	14.425.672	12.818.941	11.834.094	10.568.248
M-B: Madrid-Barcelona.						
M-Z: Madrid-Zaragoza.						
θ : tasa de crecimiento de los beneficios netos.						
a: porcentaje de tráfico generado sobre el desviado.						
VAN: valor actual neto.						
Fuente: Elaboración propia						

Gráfico 6: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN>0 LÍNEA MADRID-BARCELONA TASA DE CRECIMIENTO DEL 2% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 2,5%



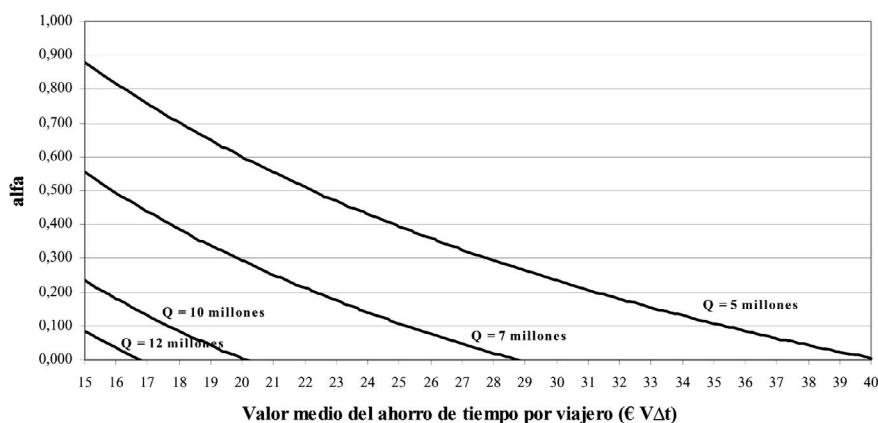
α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA VAN=0 LÍNEA MADRID-BARCELONA TASA DE CRECIMIENTO DEL 3% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 2,5%



α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: ISOCUANTAS DE VALORES MÍNIMOS (EN EL PRIMER AÑO) DE VIAJEROS DESVIADOS DE OTROS MODOS PARA $VAN=0$ LÍNEA MADRID-BARCELONA TASA DE CRECIMIENTO DEL 4% Y TASA SOCIAL DE DESCUENTO DEL 2,5%



α : viajes generados/viajes desviados V: valor medio del tiempo Δt : ahorro medio de tiempo

Fuente: Elaboración propia

construir infraestructuras de alta velocidad; sin embargo, dada la naturaleza de este tipo de inversión y los viajeros que la utilizan, es difícil encontrar en los argumentos convencionales de obligación de servicio público, su aplicación a una tecnología que es más cercana al avión que a un tren de cercanías convencional o un servicio de autobuses urbanos.

4. CONCLUSIONES

La discusión sobre la rentabilidad social de la inversión en trenes de alta velocidad ha estado prácticamente ausente del debate político en España. Considerado un símbolo de modernidad, el tren de alta velocidad ha encontrado un apoyo casi unánime de los usuarios (que se han beneficiado de precios altamente subvencionados), de las administraciones públicas autonómicas y locales que no han de pagar los elevados costes de construcción, mantenimiento y operación, de los grupos industriales fabricantes de infraestructura y material móvil, y de la Comisión Europea que apuesta por la alta velocidad en su política de redes transeuropeas.

Con tantos defensores y tan buena prensa, ¿dónde está realmente el problema de invertir dinero público en alta velocidad ferroviaria? El principal problema de la alta velocidad no radica en su alto coste, sino en que no siempre los costes que se derivan de su construcción y explotación están compensados con los beneficios que la sociedad obtiene de estas líneas ferroviarias.

El problema de la alta velocidad (más de 250 km/hora) estriba en que requiere una inversión muy elevada comparada con el ferrocarril alternativo (digamos

que el que opera entre 160-200 km/hora). Se trata de una inversión que presenta indivisibilidades importantes (se necesita la misma longitud de vía para niveles de demanda “altos” o “bajos”), y que exige atender un volumen de demanda considerable para que el coste medio resultante sea competitivo con otros modos.

Dados unos costes de construcción (condicionados por la orografía y la necesidad de atravesar zonas urbanas) y los de mantenimiento y operación (mercado laboral y otras características relevantes del país) la rentabilidad social del tren de alta velocidad depende de manera crucial del número de viajeros que se van a transportar, de la disposición a pagar adicional de los viajeros que ya viajaban al dejar los modos de transporte alternativos, de la capacidad de generar tráfico, y de los ahorros en recursos, y externalidades en su caso, que se producen en la sustitución, especialmente si proceden de la carretera.

En este trabajo se han realizado encuestas a los usuarios del corredor Madrid-Barcelona, del coche, avión, autobús, tren, y en alta velocidad en el caso de los viajeros que viajaban en algún tramo de la línea Madrid-Zaragoza. A partir de sus respuestas se han estimado los valores del tiempo y el modo de transporte que utilizaban antes del AVE (Madrid-Zaragoza) o que utilizan ahora pero que manifiestan que dejarán de utilizar cuando empiecen a operar los trenes de alta velocidad (Madrid-Barcelona). También se ha estimado la disposición a pagar por aumentar la calidad del viaje.

Bajo ciertos supuestos simplificadores, se han calculado los niveles de demanda que se requieren para que los beneficios sociales de la inversión en infraestructuras de alta velocidad ferroviaria en este corredor, y en este momento, justifiquen su coste. Los resultados obtenidos, bajo distintas hipótesis de vida útil, crecimiento de la demanda, capacidad de generación de nuevos usuarios y tasas sociales de descuento, muestran que la demanda necesaria para que compense invertir en esta tecnología es probablemente muy superior a la potencial de dicho corredor en la actualidad.

La demanda real es baja y los beneficios por ahorro de tiempo insuficientes. La alta velocidad no desvía tráfico de la carretera en cuantía significativa en el Madrid-Barcelona, y aunque si lo hace en el Madrid-Zaragoza, y probablemente lo haga en el Zaragoza-Barcelona, los beneficios de dichos ahorros son muy bajos. El beneficio social medio por pasajero es sensiblemente superior en el trayecto Madrid-Zaragoza que en el Madrid-Barcelona, ya que los beneficios por desviación de tráfico desde el tren convencional y el avión son mínimos en este último trayecto.

En economía, los costes hundidos no cuentan en las decisiones y por tanto las conclusiones de este trabajo son más útiles para reflexionar sobre la conveniencia de construir con dinero público nuevas líneas que para especular sobre si se debería o no se debería haber construido lo ya existente. Las nuevas líneas proyectadas deberían pasar el mínimo test de racionalidad económica consistente en si cabe esperar que la inversión requerida para una nueva línea de alta velocidad genere beneficios sociales que compensen lo que se pierde en la mejor alternativa disponible para esa inversión (trenes convencionales por debajo de los 200 km/h, servicios de transporte aéreo).

Cuando la demanda es baja y/o el beneficio frente al modo alternativo es bajo, puede ocurrir que otros efectos positivos, como la provisión de capacidad ferrovia-

ría adicional en situaciones de saturación de la red convencional, o la reducción de la congestión en la carretera y accidentes, o el que se atienda demanda latente que evita, por ejemplo, que se construya una autopista, añadan beneficios sociales a los considerados en este trabajo, de manera que con un volumen de demanda inferior al estimado en este trabajo se alcance la rentabilidad social de la inversión.

En estas circunstancias conviene subrayar que la inversión en alta velocidad ferroviaria reúne varias características que elevan sustancialmente el valor de la opción de esperar: es muy costosa, presenta indivisibilidades en su construcción, está concebida para transportar grandes volúmenes de tráfico, es una inversión irreversible, presenta incertidumbre de demanda y su construcción puede retrasarse.

En el caso de los proyectos más dudosos, la decisión de construir una línea de alta velocidad ferroviaria puede posponerse hasta que tengamos mayor información sobre los volúmenes de demanda esperados o sobre la evolución de la tecnología. En Europa la alternativa aérea de bajo coste ha reducido significativamente el tráfico de alta velocidad en algunos trayectos. También puede mejorar la tecnología o abarataarse. Con una demanda relativamente baja en algunos de los corredores en España y si no se esperan desviaciones de tráfico significativas que produzcan importantes ahorros de tiempo y reducción de congestión, esperar puede ser una opción rentable.

ANEXO A1

El coste de viaje y el tiempo de acceso se definieron en función de los valores declarados por el individuo en la encuesta previa de Preferencias Reveladas. La frecuencia se definió en función de si la hora de salida era anterior o posterior a las 9:00 a.m. Todas las variables se definieron con tres niveles, a excepción de la frecuencia y la comodidad que se definieron con dos. En el caso de la comodidad se consideró como referencia de comodidad alta la del AVE y se definieron dos niveles para el caso del avión (baja y alta), con el objeto de analizar el efecto que se produciría al aumentar el estándar de comodidad en el avión²¹.

Las variables que no se adaptaron en función de los valores revelados en la encuesta se definieron tomando niveles de variación que fueran considerados lógicos por el individuo. Así por ejemplo, la puntualidad en el AVE variaba entre salida puntual y salida con 10 minutos de retraso. La simulación con retrasos superiores a 10 minutos no habría sido percibida como un escenario realista ya que en el transporte ferroviario generalmente los retrasos no son muy grandes.

El diseño experimental consiste en combinar los distintos niveles de las variables para cada modo, creando distintas situaciones de elección que definen unas características determinadas para el avión y para el AVE. El programa diseñado en WINMIN enfrentaba al individuo ante 9 situaciones de elección entre avión y AVE similares a la que se muestra en el gráfico A1.1. Además, se tuvo en cuenta a la hora de diseñar el programa que no se considerasen alternativas domi-

(21) Información más precisa acerca de los niveles que tomaron las variables se encuentra a disposición del lector.

nadas, es decir, cuando una alternativa es superior a la otra en todos los atributos. De esta forma, en las 9 situaciones de elección existía un *trade-off* entre atributos.

Gráfico A1.1: SITUACIÓN DE ELECCIÓN DE PREFERENCIAS DECLARADAS

AVIÓN	AVE
Tarifa: 100 €	Tarifa: 80 €
Tiempo de viaje: 1 h 10 min	Tiempo de viaje: 2 h 15 min
Tiempo de acceso: 50 min	Tiempo de acceso: 30 min
Frecuencia: cada 15 min	Frecuencia: cada 60 min
Puntualidad: Retraso de 15 min (en la sala de embarque)	Puntualidad: Salida puntual
Comodidad: Baja: Asiento estrecho Poca separación entre asientos	Comodidad: Alta: Asiento amplio Bastante separación entre asientos

Elijo AVIÓN -----

Elijo AVE -----

Una de las ventajas del empleo de datos de Preferencias Declaradas es que, por cada individuo, es posible obtener varias observaciones. En nuestro caso, cada persona proporcionó 9 observaciones; obteniéndose una muestra en total de 2.689 observaciones.

ANEXO A2

Cuadro A2.1: VARIABLES EMPLEADAS EN LA ESPECIFICACIÓN DEL MODELO CORREDOR MADRID-ZARAGOZA					
Variables del modelo	Unidades	Modo			
		Coche conductor	Coche acomp.	Autobús	Avión
Variables de nivel de servicio					
Tiempo de acceso+egreso (t_a)	Min	—	—	✓	✓
Tiempo de espera (t_e)	Min	—	—	✓	✓
Tiempo de viaje (t_v)	Min	✓	✓	✓	✓
Coste de viaje/combustible (c_v)	€	✓	✓	✓	✓
Tiempo entre dos servicios (f)	Min	—	—	✓	—
Variables socioeconómicas					
Trabajo o estudios (T)	1 si el viaje es por trabajo o estudios 0 en otro caso	✓	✓	✓	✓
Tiempo acc+egr <60' ($T_{a<60}$)	1 si el tpo acc+egr es menor que 60' 0 en otro caso	—	—	✓	✓
Ingreso semanal <i>per cápita</i> (I)	€	—	—	✓	✓
Tiempo total por período (semana) (T_t)	Horas	✓	✓	✓	✓
Hora de trabajo por período (semana) (W)	Horas	✓	✓	✓	✓
Tasa de gasto (g) $g=I/(T_t-W)$	€/horas disponibles	✓	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia

Cuadro A2.2: VARIABLES EMPLEADAS EN LA ESPECIFICACIÓN DEL MODELO CORREDOR MADRID-BARCELONA					
Variables del modelo		Unidades	Modo		
			Coche conductor	Coche acomp.	Autobús Tren convencional Avión
Variables de nivel de servicio (Preferencias Reveladas)					
Tiempo de acceso+egreso (t_a)	Min		-	-	✓
Tiempo de espera (t_e)	Min		-	-	✓
Tiempo de viaje (t_v)	Min		✓	✓	✓
Coste de viaje/combustible (c_v)	€		✓	✓	✓
Tiempo entre dos servicios (f)	Min		-	-	-
Variables de nivel de servicio (Preferencias Declaradas)					
Tiempo de acceso+egreso (t_a)	Min		-	-	✓
Tiempo de viaje (t_v)	Min		-	-	✓
Coste de viaje (t_v)	€		-	-	✓
Tiempo entre dos servicios (f)	Min		-	-	✓
Puntualidad (tiempo de retraso) (r)	Min		-	-	✓
Comodidad (CA)	1 para comodidad alta		-	-	✓
Variables socioeconómicas					
Trabajo o estudios (T)	1 si el viaje es por trabajo o estudios 0 en otro caso		✓	✓	✓
Tiempo acc+egr <60' ($T_{a<60}$)	1 si el tpo acc+egr es menor que 60' 0 en otro caso		-	-	✓
Ingreso semanal <i>per cápita</i> (I)	€		-	-	✓
Tiempo total por período (semana) (T_t)	Horas		✓	✓	✓
Hora de trabajo por período (semana) (W)	Horas		✓	✓	✓
Tasa de gasto (g) $g=I/(T_t-W)$	€/horas disponibles		✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelson, P. y P. Hensher (2001): "Induced travel and user benefits: clarifying definitions and measurement for urban road infrastructure", en Hensher D. y K. Button (eds.): *Handbook of transport systems and traffic control*, Handbooks in Transport 3 Elsevier, Pergamon.
- Álvarez, O. y J.A. Herce (1993): "Líneas ferroviarias de alta velocidad en España", *Economía Aplicada*, n.º 1 (1), págs. 5-32.
- Barrón de Angoitia, I. (2004): *Costes de construcción de líneas de alta velocidad*. Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). París.
- Ben-Akiva, M.E. y T. Morikawa (1990): Estimation of travel demand models from multiple data sources. *Proceedings 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Yokohama, July 1990.
- 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*, n.º 31, págs. 1-20.
- Bradley, M.A. y A.J. Daly (1997): Estimation of logit choice models using mixed stated preference and revealed preference information, en P.R. Stopher and M. Lee-Gosselin (eds.): *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*, Pergamon, Oxford.
- Cherchi, E. y J. de D. Ortúzar (2006): "On fitting mode-specific constants in the presence of new options in RP/SP models", *Transportation Research*, Part A, 40, 1, págs. 1-18.
- de Rus, G. y V. Inglada (1993): "Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España", *Economía Aplicada*, n.º 3, págs. 27-48. 1993.
- de Rus, G. y V. Inglada (1997): "Cost-benefit analysis of the high-speed train in Spain", *The Annals of Regional Science*, n.º 31, págs. 175-188.
- de Rus, G. y G. Nombela (2004): "Is the investment in High Speed Rail socially profitable?". Documento de trabajo, EIT. Universidad de Las Palmas.
- Department of Environment, Transport and the Regions (2004): *High speed line study*. Feasibility study by Atkins for the Strategic Rail Authority, London.
- European Commission (1997): *Guide to cost-benefit analysis of major projects. In the context of EC regional policy*. Directorate-General XVI.
- European Commission (2001): *European transport policy for 2010*, White Paper, Brussels.
- González-Savignat, M. (2000): *Preferencias declaradas con diseño de experimentos: una aplicación al tren de alta velocidad*. Tesis Doctoral. Departamento de fundamentos del análisis económico e historia e instituciones económicas. Universidad de Vigo.
- González-Savignat, M. (2004): "Competition in air transport. The case of the high speed train", *Journal of Transport Economics and Policy*, n.º 38(1), págs. 77-108.
- Gutierrez, J. (2004): "El tren de alta velocidad y sus efectos espaciales", *Investigaciones Regionales*, n.º 5, págs. 199-221.
- 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*, n.º 31, págs. 57-76.
- Jara-Díaz, S.R. (1998): "Time and income in travel choice: towards a microeconomic activity-based theoretical framework", en Garling, T., Laitila, T. y Westin, K. (eds): *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*. Elsevier Science, Nueva York.
- Jara-Díaz, S.R. y M. Farah (1987): "Transport demand and users' benefits with fixed income: the goods/leisure trade-off revisited", *Transportation Research*, n.º 21B, págs. 165-170.

- Krugman, P.R. y A.J. Venables (1996): "Integration, specialization and adjustment", *European Economic Review*, n.º 40, págs. 959-967.
- 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*, n.º 31, págs 189-215.
- Louviere, J.J., D.A. Hensher y J.D. Swait (2000): *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Martin, F. (1997): "Justifying a high-speed rail project: social value vs. regional growth", *The Annals of Regional Science*, n.º 31, págs. 155-174.
- McFadden, D. (1974): "The measurement of urban travel demand", *Journal of Public Economics*, n.º 3, págs. 303-328.
- McFadden, D. (1981): "Econometric models of probabilistic choice", en Manski, C. y McFadden, D. (eds): *Structural Analysis of Discrete Choice Data with Econometric Applications*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Nash, C.A. (1991): "The case for high speed rail", Institute for Transport Studies, The University of Leeds, Working Paper 323.
- Plassard, F. (1994): "High speed transport and regional development" en *Regional policy, transport network*. European Conference of Ministers of Transport, Paris.
- Puga, D. (2002): "European regional policies in light of recent location theories", *Journal of Economic Geography*, n.º 2, págs. 373-406.
- Rizzi, L.I. y J. de D. Ortúzar (2003): "Stated preference in the valuation of interurban road safety", *Accident Analysis and Prevention*, n.º 35, págs. 9-22.
- Steer Davies Gleave (2004): *High speed rail: International comparisons*. Commission for Integrated Transport. London.
- Vickerman, R. (1995): "The regional impacts of Trans-European networks", *The Annals of Regional Science*, n.º 29, págs. 237-254.
- Vickerman, R. (1997): "High-speed rail in Europe: experience and issues for future development", *The Annals of Regional Science*, n.º 31, págs. 21-38.
- Vives, X. (2001): "Globalización y localización", en García-Milá, T. (ed.): *Nuevas Fronteras de la Política Económica*. Centre de Recerca en Economia Internacional. Universitat Pompeu Fabra, págs. 21-76.

Fecha de recepción del original: marzo, 2004

Versión final: febrero, 2005

ABSTRACT

In order to know whether a particular High Speed Rail project is worthwhile, it is necessary to have an estimation of the initial investment and the flow of benefits and costs during the project life. An estimation of the benefits requires having a measure of the users diverted from other modes of transport and the number of users generated thanks to the new transport alternative and how much the average user is willing to pay for this change.

Our analysis is based on the estimation of disaggregated demand models using information provided by travellers in the main corridors: Madrid-Zaragoza and Madrid-Barcelona. Based on a simplified model for the economic appraisal of the Madrid-Barcelona High Speed Rail line the estimated demand parameters and cost structure, we have obtained a set of minimum demand thresholds required for a positive net present value in this corridor, under some assumptions of feasible ranges for key parameters like the social rate of discount, project life, annual growth rate of net benefits and the proportion of generated traffic.

Key words: demand analysis, cost-benefit analysis, infrastructure, railways.

JEL classification: C42, C53, D61, H43, L92.