EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS Y POLÍTICAS DE TRANSPORTE: METODOLOGÍA Y APLICACIONES

Parte 2:

Análisis coste-beneficio de proyectos ferroviarios: líneas de alta velocidad y suburbanas

1 de septiembre de 2020

Autores:

Ginés de Rus	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, FEDEA
Javier Campos	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Armando Ortuno	Universidad de Alicante
M. Pilar Socorro	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Jorge Valido	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Revisor externo:

Per-Olov Johansson	Stockholm School of Economics

Este informe técnico ha sido encargado a los autores por la Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal (AIReF) para el Spending Review sobre Infraestructuras de Transporte. Ha sido financiado por la UE a través del Structural Reform Support Programme (SRSS). El documento refleja únicamente la opinión de los autores y no implica una posición política de la Comisión Europea o de la AIReF, ni son responsables de ningún uso que pueda hacerse de la información que contiene. Esta investigación se ha beneficiado de largas y fructíferas discusiones con el personal de AIReF, en particular, Santiago Fernández, Milagros Paniagua, Angel Martínez y Fernando de la Cámara.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4

2. ELEMENTOS CLAVE EN LA DEFINICIÓN DE UN PROYECTO FERROVIARIO 6

2.1. Definición del proyecto y alternativas 6

2.2. El papel de los distintos grupos de interés en la evaluación de los proyectos ferroviarios 8

3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS FERROVIARIOS 12

4. LOS COSTES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS 15

4.1. Proyectos ferroviarios de alta velocidad 15

4.1.1. Costes de construcción de una línea de alta velocidad 15

4.1.2. Estimación de los costes de operación y mantenimiento de una línea de alta velocidad 18

4.2. Proyectos de ferrocarril de cercanías 20

5. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD 24

5.1. Medición de los cambios en el bienestar social 24

5.2. El análisis coste-beneficio de una nueva línea de alta velocidad en la práctica 30

5.2.1. Supuestos sobre los costes y parámetros de la demanda 31

5.2.2. Cálculo de beneficios y costes 35

5.2.3. Evaluación financiera 37

5.2.4. Evaluación económica 39

6. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS DE CERCANÍAS 41

6.1. Ahorro de tiempo, accesibilidad y efectos de la congestión en los proyectos ferroviarios de cercanías 41

6.2. *Wider economic benefits* y proyectos ferroviarios de cercanías 45

6.3. El análisis coste-beneficio de una nueva línea de cercanías en la práctica 50

ANEXO A. EXAMEN DE LOS MANUALES Y GUÍAS SOBRE EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS 62

ANEXO B. VARIABLES E INFORMACIÓN DE LAS FUENTES PARA EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE PROYECTOS FERROVIARIOS 66

REFERENCIAS 69

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación económica de un proyecto de inversión en el sector ferroviario se sustenta sobre los mismos principios de análisis coste-beneficio (ACB) que se aplican a otros modos de transporte. Sin embargo, estas normas generales también deberían tener en cuenta las peculiaridades técnicas y económicas de un sector que no solo se caracteriza por ofrecer servicios de transporte frecuentes, rápidos y seguros a una gran cantidad de pasajeros y volúmenes de carga, sino también por sus elevados (y, a menudo, irrecuperables) costes de construcción, funcionamiento y mantenimiento. El transporte ferroviario se caracteriza también por las grandes economías de escala y densidad que conlleva, algo que tradicionalmente se ha argumentado en muchos países para justificar estructuras de mercado basadas en monopolios públicos integrados verticalmente con limitadas oportunidades de competencia.

Sin embargo, a lo largo de las últimas décadas, y con el fin de afrontar el progresivo declive del transporte ferroviario en comparación con otros modos de transporte competidores, la Unión Europea (UE) ha emprendido un proceso de restructuración consistente en separar la administración de las infraestructuras ferroviarias de la prestación de servicios, liberalizando además de forma progresiva el sector con el objetivo de fomentar la competencia, ya sea en la propia provisión y gestión de dichas infraestructuras o en las actividades de transporte que la requieren. El aumento del número de agentes económicos y sociales, tanto públicos como privados, que participan actualmente en el sector ferroviario hace que sea aún más pertinente cuantificar y analizar adecuadamente la distribución de los beneficios y las pérdidas entre ellos a la hora de emprender cualquier nuevo proyecto, convirtiendo esta tarea en un componente esencial del proceso global de toma de decisiones.

A pesar de que en la mayoría de los Estados miembros de la UE el gobierno sigue siendo el responsable de gran parte de las inversiones y las políticas de transporte ferroviario, la evaluación económica de los proyectos que tienen que ver con este sector debería considerar no solo sus efectos sobre el presupuesto público, sino también las repercusiones económicas que conlleva para todos los demás agentes implicados: el administrador de la infraestructura, los operadores de servicios (públicos y privados), los usuarios de los ferrocarriles y otros modos de transporte competidores y, en general, los efectos en otros sectores, siempre que sean oportunos. Aunque es posible tomar decisiones sobre algunos proyectos ferroviarios de menor importancia a nivel de administración de la infraestructura o de las empresas explotadoras de los servicios, los proyectos de mayor envergadura, como, por ejemplo, la apertura de una nueva línea, la mejora o el cierre de servicios existentes, la construcción de nuevas infraestructuras, etc., se ven cada vez más afectados por estas complejas relaciones. Tomar decisiones se

convierte así en una tarea compleja que requiere una evaluación más completa, con criterios económicos sólidos y bien establecidos.

Este es el objetivo principal del presente documento, basado en el trabajo previo titulado *A GENERAL METHODOLOGY FOR COST-BENEFIT ANALYSIS IN TRANSPORT* (Metodología general para el análisis coste-beneficio en el transporte), así como en las guías y manuales que ya existen sobre el modo de llevar a cabo el ACB de los proyectos ferroviarios. Desde el punto de vista metodológico, nuestra principal referencia se encuentra en la **PARTE I** de este informe,[1] donde se desarrolla un modelo de general de evaluación en el que cualquier proyecto de transporte puede interpretarse como una intervención externa en un mercado que afecta al bienestar social de diferentes individuos en diferentes momentos, en comparación con un contrafactual (la situación que se daría sin llevar a cabo el proyecto). Teniendo en cuenta esta perspectiva y tras esta breve introducción, la **Sección 2** comienza con el debate sobre cómo deben definirse los proyectos de transporte ferroviario desde el punto de vista de su evaluación ex ante, centrándose particularmente en los diferentes papeles que desempeñan los distintos agentes del sector. El resto del documento se centra en los proyectos ferroviarios destinados al transporte de pasajeros (construcción de una nueva línea, ampliación de una red existente, etc.), aunque las ideas principales también se pueden extrapolar a proyectos de transporte de mercancías. En la **Sección 3** se analiza la especial importancia de las previsiones de demanda en la correcta definición de los proyectos ferroviarios. En la **Sección 4** se estudian con mayor detalle algunas de las características técnicas más relevantes de estos proyectos, distinguiendo, en particular, entre las actividades relacionadas con el tren de alta velocidad (HSR por sus siglas en inglés) interurbanos y otras relacionadas con los trenes de cercanías, que operan dentro del área metropolitana, conectando el centro de las ciudades con los barrios periféricos. El contenido de las **Secciones 5 y 6** se dedicará respectivamente a debatir la aplicación de la metodología ACB en cada uno de estos tipos de proyectos ferroviarios y se proporcionará en cada caso un ejemplo hipotético para ilustrar los elementos más destacados del proceso de evaluación. En el **Anexo A**, finalmente, se revisarán algunas de las guías de evaluación económica más recientes y en el **Anexo B** se enumerarán las variables y las fuentes de datos que serán necesarias para realizar el ACB de los proyectos ferroviarios.

[1] De Rus *et al*. (2019).

2. ELEMENTOS CLAVE EN LA DEFINICIÓN DE UN PROYECTO FERROVIARIO

2.1. Definición del proyecto y alternativas

Como en cualquier otro proyecto de transporte, la evaluación ex ante de una inversión ferroviaria comienza con la adecuada identificación del proyecto dentro del contexto de un programa de inversión más amplio a escala regional, nacional o europea. Este primer paso delimita el alcance del análisis, la sociedad de referencia y aclara qué agentes pueden o no estar implicados en él. Desde un punto de vista técnico, deberían incluirse en el proyecto, en consecuencia, todos los elementos (de ingeniería) necesarios para que sea operativo, como, por ejemplo, vías principales y secundarias, estaciones, terminales y otras infraestructuras auxiliares, instalaciones de energía y comunicación, parque móvil, etc. Sin embargo, desde una perspectiva económica, la definición del proyecto debe evitar los elementos que no estén relacionados o que no sean necesarios para convertirlo en operativo, como es el caso de edificios que no estén relacionados con el funcionamiento de los trenes, carreteras que no sean necesarias en el proyecto ferroviario o para llevarlo a cabo, etc.

La mayoría de los grandes proyectos ferroviarios de transporte de pasajeros requieren un ejercicio de planificación previo que aclare cuál es su objetivo final y cómo lograrlo. Algunos proyectos pueden estar destinados a abordar problemas muy específicos como, por ejemplo, cuellos de botella o falta de capacidad; otros, a mejorar las condiciones actuales de transporte, como conexiones lentas o servicios de mala calidad y, en muchos casos, responden a otras necesidades sociales, como una mayor accesibilidad o una reducción de los daños medioambientales. Dado que llevar a cabo un proyecto implica la decisión simultánea de descartar todas las demás opciones factibles, a fin de evaluar la conveniencia económica de un proyecto siempre se debe tener en cuenta un abanico adecuado de alternativas.

Una de las posibles opciones hipotéticas que se debe tener en cuenta es la alternativa de hacer lo mínimo («*do-minimum*»), que implica realizar la menor inversión y mantenimiento posibles para mantener los mercados de transporte actuales funcionando sin un deterioro excesivo de los servicios. En el caso del ferrocarril, esto puede interpretarse como que se sigue el patrón estándar de renovación y mantenimiento de la infraestructura y el parque móvil ya existente (algo que, por supuesto, daría lugar a niveles de tráfico significativamente diferentes a los previstos en el proyecto).

Por el contrario, la alternativa de no hacer nada («*do-nothing*») es a menudo incompatible con el funcionamiento normal de la red existente y, por lo tanto, no suele

ser una referencia válida. En muchos casos, especialmente en la evaluación de las líneas de alta velocidad, el «*do-minimum*» no se define como la inversión que se requiere para proporcionar la capacidad necesaria dado el crecimiento normal del tráfico previsto, lo que se denomina «inversión evitada». En su lugar, la comparación debe realizarse entre el nuevo proyecto (es decir, la línea de alta velocidad) y una alternativa importante «evitada» (como la duplicación de la vía). En los casos en que la saturación de la red ferroviaria convencional requiera ampliaciones de capacidad, la construcción de una nueva línea ferroviaria de alta velocidad debe evaluarse también como una alternativa a la mejora y ampliación de la red convencional, con la ventaja adicional de liberar capacidad. Obviamente, esta capacidad adicional se valoraría en la medida en que la demanda supere la capacidad existente. En estas circunstancias, la capacidad adicional puede absorber el crecimiento del tráfico entre las ciudades atendidas por la línea HSR y también puede liberar capacidad en las líneas existentes para satisfacer otro tráfico, como la demanda de cercanías o de mercancías.

Por lo tanto, puede haber alternativas de hacer algo («*do-something*») que pueden definirse de varias maneras, dependiendo del tamaño y el alcance del proyecto.[2] A veces una alternativa es simplemente una extensión o mejora de otra, como en el caso de un enlace adicional. En este caso, si la alternativa básica es aceptable, es la inversión adicional la que debe evaluarse. Las comparaciones se vuelven más complejas cuando se evalúan varios proyectos interrelacionados. Si los efectos de red son importantes, como en el caso de los ferrocarriles de cercanías, el orden de ejecución de proyectos relacionados y el momento de su puesta en marcha podrían tener repercusiones importantes sobre la rentabilidad de toda la inversión. Una manera de abordar estos casos es evaluar toda la inversión y cada uno de sus componentes individuales para llegar tanto a una selección óptima del proyecto como a su programación temporal. Sin embargo, esto es difícil en la práctica, por lo que se suele optar solamente por una valoración individual de cada proyecto. En este caso, es importante tener en cuenta los plazos específicos de cada uno de ellos y, en cualquier caso, evitar contabilizar por partida doble los mismos beneficios.

De hecho, la perspectiva tradicional a la hora de definir los proyectos ferroviarios, en particular los que afectan a tramos urbanos y suburbanos, se ha centrado en tener en cuenta las inversiones que conducen a un proceso de mejora continua en la red de transporte existente, en lugar de las opciones que representan un cambio importante en la red. Esto se debe al carácter integrado del sistema ferroviario, que a menudo impide

[2] Véase Turró (2004) y de Rus *et al.* (2019) para más información sobre esta cuestión. *Railway Project Appraisal Guidelines* (Directrices para la Evaluación de Proyectos Ferroviarios, RAILPAG), así como las diferentes directrices de inversión ferroviaria que utiliza el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias Españolas (ADIF) y otras instituciones internacionales se analizan en el **Anexo A**.

la difusión de las ventajas, especialmente las derivadas de la innovación, a toda la red. Las restricciones de velocidad o los antiguos sistemas de electrificación y señalización pueden, por ejemplo, condicionar la utilización de trenes modernos en tramos que se han mejorado. Sin embargo, el creciente desarrollo de las redes de alta velocidad, que requieren infraestructuras especializadas e incluso anchos de vía diferentes (como ocurre en España) está cambiando esta perspectiva y algunos expertos (UIC, 2018) ya abogan por enfoques de evaluación ligeramente diferentes para los distintos proyectos ferroviarios, como se discute en la sección siguiente. En todo caso, la definición de alternativas para un proyecto ferroviario debe tener siempre en cuenta las implicaciones para el conjunto del sistema de transporte y, para proyectos más grandes, incluso los efectos más amplios sobre el territorio (*wider economic benefits*), cuando existen y se pueden contabilizar.

2.2. El papel de los distintos grupos de interés en la evaluación de los proyectos ferroviarios

Cuando se comparan con el escenario contrafactual de partida, la mayoría de las inversiones en el sector ferroviario implican costes y beneficios para un gran abanico de instituciones, empresas y otros agentes económicos durante varios años. Muchos de estos beneficios y costes son transacciones financieras que reflejan las principales partidas relevantes para el administrador de las infraestructuras o los operadores de servicios ferroviarios, cuya principal preocupación es la rentabilidad global del proyecto y su sostenibilidad en términos financieros. Sin embargo, otros costes y beneficios no se reflejan directamente en dichos flujos financieros (por ejemplo, parte del ahorro del tiempo de viaje), o bien aparecen en otros sectores (en modos de transporte que compiten con el ferrocarril), o bien no son interiorizados por usuarios y productores (costes externos). Sin embargo, todos estos elementos son esenciales en la evaluación económica de un proyecto ferroviario mediante el ACB, cuyo objetivo final es cuantificar en qué medida repercute dicho proyecto en el bienestar de cada uno de los agentes implicados, tanto por razones de eficiencia como de equidad.

El ACB adopta, de hecho, una perspectiva social, ya que evalúa los proyectos ferroviarios teniendo en cuenta todos sus beneficios y costes, a pesar de que la evaluación puede implicar la toma de decisiones impopulares y llevar a rechazar o retrasar proyectos con gran apoyo de los ciudadanos, pero con costes sociales que superan los beneficios que genera. Desafortunadamente, no es infrecuente que algunos proyectos ferroviarios se lleven a cabo en muchos países bajo presiones políticas o preocupaciones sociales distorsionadas, ignorando o malinterpretando los resultados del ACB (ECA, 2018). El ACB se debe considerar una herramienta de decisión que contribuya a elegir proyectos que incrementen la eficiencia y ayude a identificar cómo

se distribuyen los beneficios y costes sociales entre los diferentes agentes, añadiendo así transparencia y responsabilidad al proceso de decisión.

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de restructuración de los ferrocarriles en la Unión Europea ha favorecido explícitamente la separación de la infraestructura y los servicios, al menos desde el punto de vista contable.[3] Algunos Estados miembros han realizado una desintegración vertical completa del sector e incluso han privatizado, parcialmente o en su totalidad, su red ferroviaria, mientras que otros países han optado por una solución de compromiso en la que la propiedad, y, en última instancia, la responsabilidad general de los programas de inversión, sigue estando bajo el control del gobierno, mientras que la administración diaria (incluyendo la evaluación de las inversiones) se deja en manos de un organismo público con cierto grado de autonomía financiera.[4]

Cuando el transporte ferroviario está verticalmente desintegrado, el administrador de infraestructuras ferroviarias debe considerarse un agente relevante desde el punto de vista de la evaluación del proyecto, ya que podría tener tanto sus propias fuentes de ingresos (por acceso a las vías, peajes, alquileres, etc., como costes (incluidas las inversiones). Un proyecto ferroviario suele afectar a un único administrador de infraestructuras. Sin embargo, existe la posibilidad de dividir la red nacional entre varios administradores a nivel regional y es probable que las obras en tramos internacionales afecten también, al menos, a dos de ellos.

Es oportuno señalar que la existencia de vínculos entre los administradores de las redes y los operadores de servicios podría conllevar la existencia de incentivos perversos en el conjunto del sistema ferroviario, anulando los efectos de la desintegración vertical: de hecho, el sector estaría actuando como en el antiguo modelo de monopolio verticalmente integrado.

Por este motivo, puede ser necesario contar con un organismo regulador independiente que supervise las relaciones entre los propietarios de la infraestructura, sus administradores y, lógicamente, los operadores de servicios, incluso en el caso de que todos ellos sean organismos públicos. Esta entidad reguladora podría, incluso, afectar a las decisiones sobre los proyectos de inversión en función de su influencia sobre las políticas de fijación de precios (por ejemplo, de acceso a la infraestructura), sobre los

[3] Véase Nash *et al.* (2013) o Laurino *et al.* (2015) para ampliar el debate sobre los diferentes modelos de restructuración ferroviaria en Europa y en el mundo.

[4] Este es, por ejemplo, el modelo español, en el que, de acuerdo con la Ley del Sector Ferroviario de 2015, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana ha delegado en un organismo independiente, ADIF, las decisiones de gestión e inversión en la infraestructura ferroviaria. Desde el año 2014, las líneas de alta velocidad están separadas administrativamente en el ente ADIF - Alta Velocidad.

niveles de servicio (dependiendo de si existen o no obligaciones de servicio público), sobre la competencia intermodal e intramodal (si hay varios operadores) y sus potenciales actuaciones para evitar abusos de posición dominante.

Con respecto a los operadores de servicios de transporte ferroviario, la introducción de competencia promovida por la Unión Europea ha tratado de erosionar el monopolio tradicional de las empresas incumbentes, en su mayoría públicas, en las redes nacionales o regionales. Esto significa que ya no resulta adecuado analizar el sistema ferroviario como un monopolio natural. No es solo que la infraestructura y los servicios admitan competencia, sino que la presencia de operadores privados incentivará la búsqueda del mayor rendimiento posible en cualquier nueva inversión. Por ese motivo, es necesario tener en cuenta esta competencia en la evaluación de proyectos y anticipar sus efectos sobre la evolución de los precios, las previsiones de tráfico, las cuotas de mercado y la consiguiente distribución de los costes e ingresos. Por otra parte, toda inversión ferroviaria importante podría tener también una repercusión en la distribución de los flujos de tráfico y en el rendimiento de los demás modos de transporte (competencia intermodal), lo cual deberá incluirse en las estimaciones de demanda, así como en la estimación de los beneficios y costes sociales.

Por su parte, los usuarios del transporte ferroviario no solo se ven afectados económicamente por las modificaciones de los costes que se traducen en cambios en el precio de los billetes o los fletes, sino que también pueden obtener otros beneficios del proyecto, como ahorros de tiempo, mejoras en seguridad y comodidad, etc., que pueden tener repercusiones positivas y negativas en los diferentes modos de transporte. Los usuarios y los no usuarios también comparten los costes del proyecto, ya sea como contribuyentes finales o por factores externos. El signo y la cantidad de estos efectos no siempre son fáciles de cuantificar, pero pueden tener un peso importante en la toma de decisiones, especialmente cuando las crecientes preocupaciones medioambientales tienden a posicionar al ferrocarril más favorablemente en la opinión pública en comparación con el transporte por carretera o en avión.

Finalmente, existen otros agentes económicos que pueden tener cierta relevancia en la evaluación. La inversión en proyectos ferroviarios la realizan directamente las empresas constructoras, los proveedores de equipos y servicios, etc. En el mantenimiento y la operación pueden participar también empresas externas, lo que moviliza mano de obra y capital fuera del sector ferroviario. Los propietarios de terrenos también podrían verse afectados por expropiaciones o cambios en el valor de sus propiedades. Los grandes proyectos también pueden repercutir en las decisiones de reubicación de las empresas y trabajadores y sobre el funcionamiento de otros mercados, así como el nivel de competitividad general de la economía. Sin embargo, el riesgo de doble contabilización es elevado y toda medición de las repercusiones indirectas que conlleve un proyecto

ferroviario, ya sea a nivel microeconómico o macroeconómico, debe estar respaldada por una metodología bien justificada que se centre en cada caso individual y por un análisis específico basado en datos. La alternativa de justificar grandes inversiones ferroviarias por los *wider economic benefits* que no se pueden comprobar o por las ganancias globales de competitividad es todavía muy frecuente.

3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS FERROVIARIOS

Tras definir el proyecto ferroviario e identificar los agentes afectados por el mismo, el siguiente paso en el proceso de evaluación consiste en realizar una buena estimación de la demanda. Para ello es necesario analizar la demanda presente para los distintos tipos de tráfico, utilizando datos de los operadores en el sector o de otras fuentes estadísticas relevantes y la demanda futura, a partir de estimaciones fiables basadas en supuestos razonables sobre la respuesta de los modos de transporte alternativos, la elasticidad ante cambios en los precios y otros posibles cambios en ingresos y costes. La cuantificación del tráfico «con proyecto» y «sin proyecto» es esencial para formular predicciones, aunque el análisis de la demanda siempre debe proporcionar estimaciones adaptadas a las características técnicas y económicas de cada caso concreto. En función de los datos disponibles y de los recursos que se dediquen a la evaluación se pueden utilizar diferentes técnicas para realizar las estimaciones de demanda, como modelos de regresión, modelos *logit*, extrapolaciones de tendencias, métodos cualitativos, etc., y es posible que sus resultados sean diferentes.

En general, dado que cualquier proyecto de transporte afecta a la distribución modal de los usuarios, debe identificarse claramente el tráfico desviado (el que procede de modos de transporte que compiten con el ferrocarril), así como la cantidad de demanda (nueva) generada, asociada al proyecto en forma de nuevos usuarios o como nuevos viajes de los usuarios existentes. Es importante desagregar la estimación por rutas o tramos específicos y distinguir adicionalmente los motivos de viaje (de negocios, de desplazamiento al trabajo, de ocio, etc.), ya que el valor del tiempo de los usuarios es diferente. También es necesario determinar si el proyecto tiene o no efectos de red, como ocurre generalmente con el metro o el ferrocarril de cercanías, ya que su demanda y, por consiguiente, su rendimiento financiero y económico, está afectada por elementos de complementariedad y accesibilidad que deben tenerse en cuenta explícitamente en la evaluación.

En la práctica, aunque existen diferentes procedimientos para llevar a cabo el análisis de la demanda en los proyectos ferroviarios, todos ellos suelen incluir al menos tres elementos. Cuando se trata de la construcción de una nueva línea ferroviaria de pasajeros (por ejemplo, un nuevo corredor de alta velocidad) es necesario:

1. crear una base de datos, habitualmente en forma de una matriz detallada con origen y destino (OD), que identifique las relaciones OD más importantes entre las ciudades y estaciones a las que va a afectar el proyecto. Esta matriz debe incluir todos los datos disponibles (demanda existente, número de servicios,

frecuencias, velocidad media, precios monetarios, etc.) para todas las alternativas de transporte que existan en ese momento (carretera, transporte aéreo y ferrocarril convencional), así como otros parámetros relevantes, como las estimaciones de los costes unitarios, necesarios para un ACB previo;

2. estimar la distribución modal, en particular la generación y distribución de los viajes nuevos y existentes de acuerdo con un modelo de tráfico basado en los precios generalizados, que determine lo que sucede en los distintos escenarios «sin proyecto» y «con proyecto». La distribución modal resultante debe ser coherente con todos los parámetros económicos y técnicos del modelo (por ejemplo, precios y restricciones de capacidad) y

3. estimar la evolución de la demanda a lo largo del periodo de evaluación, que debe definirse en función de la vida económica de los activos involucrados en él. Para las inversiones en infraestructura ferroviaria, el horizonte de evaluación razonable se sitúa entre 30 y 50 años, aunque, cuanto más corto sea el plazo, mayor será el valor residual que habrá que tener en cuenta al final de la evaluación. La estimación del tráfico debe ser consistente con las estimaciones del producto interior bruto (PIB) y la elasticidad-renta.

El uso del precio generalizado (que incluye precios monetarios, el valor del tiempo de viaje y otros elementos de desutilidad por parte de los usuarios) como elemento central de los modelos de predicción de demanda no solo es estándar en economía del transporte, sino que también es coherente con la definición de los proyectos en el ACB, donde son considerados intervenciones externas en un mercado de transporte que alteran su equilibrio inicial y afectan a los precios, costes y/o tiempos de viaje. Sin embargo, la importancia relativa de cada uno de estos componentes puede diferir en la práctica.

En relación con la elasticidad, la demanda con respecto al precio monetario para la mayoría de los trayectos ferroviarios interurbanos es relativamente poco elástica para precios bajos, pero se vuelve muy elástica a medida que aumenta el precio. Los ingresos disminuyen considerablemente para los precios unitarios superiores a 0,1 euros por pasajero-kilómetro, aunque hay diferencias significativas asociadas a servicios y rutas específicas. Cuando se reduce el tiempo de viaje, el transporte ferroviario se vuelve mucho más atractivo en comparación con sus competidores, la carretera y el transporte aéreo, en particular en las rutas de media y larga distancia (entre 200 y 500 kilómetros). La velocidad media es, por tanto, clave en la elección del modo de transporte de los usuarios: la cuota de mercado del ferrocarril en muchos corredores europeos donde el tiempo de viaje es inferior a 2,5 horas es superior al 80 %, mientras que para rutas en las que se superan las 3,5 horas, suele caer por debajo del 50 %. Del mismo modo, el

aumento de la frecuencia conlleva una reducción del tiempo de espera. En estos casos, la elasticidad de la demanda con respecto a la frecuencia es siempre positiva, aunque no lineal, ya que, por ejemplo, los servicios con baja frecuencia inicial son más sensibles al aumento de la frecuencia en comparación con otros con frecuencias más bajas. En el caso de media y larga distancia, una vez que se superan las 16 frecuencias diarias el aumento de la demanda es insignificante. Por otro lado, la sensibilidad de la demanda a la frecuencia aumenta con la velocidad del tren.[5]

En el análisis de la demanda en proyectos de ferrocarril urbano y de cercanías también deben tenerse en cuenta otros factores antes de comenzar el proceso de evaluación. En varios países europeos la mayoría de los servicios de ferrocarril de cercanías en las áreas metropolitanas están sujetos a obligaciones de servicio público y la normativa existente establece una serie de requisitos previos que deben cumplirse para autorizar nuevos proyectos. Por ejemplo, en España, estos requisitos comprenden, entre otros, que la población a la que presta servicio una línea de cercanías en un radio máximo de un kilómetro desde las estaciones debe estar por encima del umbral de 100.000 habitantes (aunque también se consideran otros factores como el empleo y el nivel de actividad económica) y que la demanda estimada para nuevas líneas o nuevas estaciones debe estar por encima de los 20.000 o 5.000 pasajeros diarios, respectivamente. Sin embargo, en la práctica, estos límites suelen verse como demasiado restrictivos y, desde 2017, se han suavizado aplicando criterios de «eficiencia global y sostenibilidad» basados en los resultados económicos y financieros de las líneas de cercanías ya existentes. Esto se traduce en exigir una demanda mínima de 8.000 pasajeros diarios como umbral efectivo para implementar una nueva línea de cercanías, siempre que se establezcan también servicios mínimos de 30 trenes por sentido al día.

Finalmente, hay otros factores adicionales que son importantes para el análisis de la demanda de los proyectos ferroviarios que se deben tener en cuenta siempre que la información esté disponible. La sensibilidad de las estimaciones de tráfico es crucial con respecto, por ejemplo, a cambios demográficos y socioeconómicos, a las características de los usuarios, a sus preferencias de viaje y su disposición a pagar, a la estructura industrial y logística de la zona afectada, a la ubicación de las actividades económicas y sociales, a las estrategias de otros modos de transporte competidores, a las políticas públicas sobre subsidios e impuestos, y, por supuesto, al ritmo del cambio tecnológico. Este último factor tiene importantes repercusiones en la actual industria ferroviaria debido al creciente desarrollo de algunas alternativas (trenes de levitación magnética, Hyperloop, etc.), que podrían convertir en obsoleta las tecnologías ferroviarias actuales dentro de muy pocos años.

[5] Véase García Álvarez (2016), por ejemplo, para referencias concretas en el caso de España.

4. LOS COSTES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS

4.1. Proyectos ferroviarios de alta velocidad

Tal y como se define en UIC (2018), el tren de alta velocidad (HSR, por sus siglas en inglés) es un sistema de transporte terrestre guiado basado en al menos tres elementos técnicos particulares: infraestructuras mejoradas o nuevas líneas diseñadas para circular a una velocidad máxima de 250 km/h o más, material rodante específico con trenes diseñados *ad hoc* y nuevas normas de operación, sistemas de comunicación y mantenimiento que permitan la prestación de servicios de transporte de pasajeros de alta calidad. Aunque esta velocidad comercial es la principal referencia para definir un servicio como HSR en Europa, en rutas de media distancia sin competencia aérea, también se aceptan valores más bajos (aunque por encima de 200 km/h) si los servicios incluyen trenes específicos, la ausencia de señalización junto a la vía, centros de control de largo alcance y separación geográfica o temporal del tráfico de mercancías y de pasajeros.

4.1.1. Costes de construcción de una línea de alta velocidad

En función de la relación entre la infraestructura ferroviaria preexistente y la que es necesario construir, existen al menos cinco tipos diferentes de proyectos de alta velocidad: grandes corredores aislados de otras líneas, corredores integrados en una red, extensiones más pequeñas o nuevos tramos de corredores existentes, grandes proyectos especiales y proyectos más pequeños que complementan la red convencional (como, por ejemplo, las líneas de alta velocidad que conectan con aeropuertos o mejoras en la infraestructura convencional para dar cabida a servicios de mayor velocidad).

La construcción de una infraestructura de alta velocidad en cualquiera de estos casos requiere un diseño específico de ingeniería para afrontar todas las cuestiones técnicas que puedan reducir la velocidad comercial de los trenes en cada caso, como pasos a nivel, curvas cerradas, pendientes excesivas u otras limitaciones orográficas; por este motivo, es difícil comparar los costes de construcción de diferentes proyectos. En algunos casos, estos costes de planeamiento, los de adquisición de los terrenos, o el coste de las grandes estaciones son poco comparables y suelen excluirse de los costes de construcción, haciendo en general que el coste medio por kilómetro de una línea de alta velocidad oscile entre 10 y 40 millones de euros (en precios de 2009) según diferentes

fuentes.[6] Las líneas existentes en Europa suelen presentar costes aún más bajos (de 5 a 25 millones de euros en España y Francia), especialmente en proyectos que desarrollados en zonas con menor densidad de población y dedicados exclusivamente a trenes de pasajeros (UIC, 2018).

La mayoría de las líneas de alta velocidad se construyen en un plazo de cinco a seis años desde la adquisición de los terrenos, siempre y cuando no se requiera un número excesivo de túneles o viaductos o estos sean de gran longitud. La distribución de la inversión durante este periodo no es uniforme y depende de factores técnicos, económicos e incluso políticos. A pesar de que los procedimientos administrativos pueden diferir entre países, construir una línea de alta velocidad requiere generalmente realizar consultas públicas que garanticen el adecuado equilibrio entre los intereses públicos y privados, estudios medioambientales de las zonas afectadas (incluyendo, en su caso, medidas de mitigación), y el diseño del adecuado programa institucional y financiero para determinar quién realizará el proyecto y cómo se financiará dentro del marco regional, nacional o europeo correspondiente.

En España, por ejemplo, la planificación general y el calendario de inversiones de los proyectos ferroviarios corresponde al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, mientras que la evaluación económica (de todo el proyecto o dividido en tramos) la lleva a cabo el administrador de la infraestructura (ADIF). Una vez que se plantea la posible línea que se va a ejecutar, se realiza un *Estudio de impacto ambiental* de cada tramo, en el que se tienen en cuenta los efectos en todo el corredor, de acuerdo con la normativa ambiental vigente. Asimismo, se realiza un *Estudio informativo* de cada tramo con el fin de determinar todos los aspectos técnicos necesarios para la ejecución práctica del proyecto. Estos estudios de ingeniería incluyen diferentes trazados y soluciones para superar los obstáculos del terreno y tratar las zonas más difíciles. También se tienen en cuenta aspectos específicos, como la velocidad deseada, la longitud del tramo, el número y longitud de los viaductos y túneles, el movimiento de tierras requerido, la incidencia sobre infraestructuras existentes o las características geotécnicas del terreno. Tras finalizar estos estudios, los proyectos se evalúan cualitativamente mediante un análisis basado en múltiples criterios en el que se puntúan y ajustan los pesos específicos de cada aspecto analizado. No existe una metodología homogénea de ponderación y esta puede variar entre proyectos, lo que finalmente sugiere la existencia de factores discrecionales que incrementan la subjetividad en la decisión de ADIF. La alternativa seleccionada se desarrolla finalmente a través de un *Proyecto de construcción* que define con precisión todos los detalles y fases de la

[6] Véase Campos y de Rus (2009) o Campos *et al.* (2009) para referencias internacionales. En Preston (2013) y UIC (2018) se pueden encontrar datos más recientes, con valores equivalentes.

ejecución de las obras, entre los que figuran la cartografía, los estudios geológicos y geotécnicos, los proyectos de plataformas, los de construcción de montaje de vías, los proyectos de electrificación y de instalaciones y los proyectos de protección acústica y de vibraciones. Todos estos elementos se resumen en las *Condiciones técnicas de referencia*, que sirven para determinar el presupuesto inicial y las condiciones de licitación para las empresas constructoras privadas.

Como se ha mencionado anteriormente, la mayoría de los contratos de construcción de líneas de alta velocidad se basan en referencias de costes unitarios predefinidos (en euros por kilómetro) que dependen de la orografía específica del caso (desde el terreno llano hasta montañoso) y de los riesgos geológicos y geotécnicos de cada proyecto. De este modo, los costes de construcción de las infraestructuras (excluyendo los terrenos,[7] la planificación y las estaciones)[8] suelen ser proporcionales a la longitud de cada tramo, incluyendo los costes de materiales y mano de obra, valorados a sus correspondientes costes de oportunidad. Estos últimos suelen representar alrededor del 10 % de los costes de inversión. Con relación a la longitud exacta de un tramo ferroviario entre dos puntos, este depende del radio de la curva que une dichos puntos, que a su vez viene determinado por la velocidad: cuanto mayor sea esta, menos sinuoso debe ser el recorrido y, por tanto, menor será la longitud. Estos parámetros se calculan geométricamente mediante una función de coeficiente de trayectoria que estima el incremento de la longitud con respecto a la recta entre dichos puntos.[9]

Un segundo elemento que define de manera significativa el coste total de la infraestructura de la línea de alta velocidad es el porcentaje de tramos de viaductos y túneles en la ruta, que depende también de la orografía y la velocidad máxima deseada, ya que utilizar trazados menos sinuosos en terrenos irregulares requiere un mayor uso de este tipo de infraestructuras. En general, en terrenos planos y semiplanos estos porcentajes se sitúan entre el 1 y el 10 % de la longitud total del trazado, pero pueden incrementarse rápidamente hasta el 25-90 % en terrenos abruptos. El coste unitario de estos tramos oscila entre los 5 millones de euros por kilómetro en superficies relativamente planas y los 40 millones de euros en los terrenos más complejos. En el caso de los túneles, su coste por kilómetro depende de la sección transversal (en metros

[7] Aunque los costes medios de adquisición de suelo presentan notables diferencias entre diferentes países en función de su marco legal, si se estiman a partir de los anteriores proyectos de alta velocidad y se clasifican según el tipo de suelo, en España oscilan por metro cuadrado entre los 2,5 euros para terrenos no urbanos y 75 euros para urbanos (García Álvarez, 2016).

[8] Una línea de alta velocidad no puede tener demasiadas estaciones si se quiere aumentar la velocidad comercial. Sin embargo, esto no significa que todas ellas deban convertirse en una referencia «arquitectónica» (muy costosa) para cada ciudad (ECA, 2018).

[9] Véase González Franco (2015), por ejemplo. También existen valores de referencia incluidos en las directrices de inversión de ADIF, tal y como se señala en el **Anexo A**.

cuadrados) y puede variar entre 25-35 millones de euros para túneles de doble vía y entre 50-70 millones para los túneles con dos o más tubos.

Una vez que se ha preparado la plataforma ferroviaria se debe instalar la vía en ella. En este punto es necesario elegir entre instalar la vía en balasto o en placa, una decisión que se verá condicionada por la velocidad máxima diseñada para el tramo y por el tipo de tramo. En algunos proyectos se han utilizado también soluciones sin balasto, en las que la vía se coloca directamente sobre losas de hormigón. Ambas opciones ofrecen el mismo nivel de rendimiento, pero dependen de las condiciones del terreno. Los costes unitarios en cada caso varían entre 0,5 y 2 millones de euros por kilómetro en la mayoría de los casos.

Finalmente, los costes asociados a componentes adicionales de infraestructura, como apartaderos o desvíos, electrificación, comunicaciones, señalización o sistemas de seguridad también pueden obtenerse de los proyectos de HSR existentes en todo el mundo, pero difieren notablemente entre países. En España, por ejemplo, el coste medio de estos elementos suele oscilar entre 2,0 y 2,5 millones de euros por kilómetro, salvo en tramos muy accidentados en los que, en velocidades más altas, se acercan a los 3 millones de euros.[10] En general, y teniéndolos en cuenta de forma individual, cada uno de estos elementos suele representar entre el 5 % y el 10 % de la inversión total. Otros elementos menos importantes (supervisión, control de calidad, etc.) pueden representar entre el 1 % y el 5 % de la inversión total.

4.1.2. Estimación de los costes de operación y mantenimiento de una línea de alta velocidad

Una vez construida la infraestructura, la operación de los servicios de alta velocidad conlleva dos tipos de costes: los relacionados con la operación y mantenimiento de la propia infraestructura y los asociados con la prestación de los servicios de transporte. El grado de integración vertical que exista entre el administrador de la infraestructura y las empresas que prestan los servicios determinará quién debe asumir cada uno de estos costes y varía entre países, lo que dificulta las comparaciones.

En la primera categoría de costes figuran, por ejemplo, los gastos de mano de obra, energía y materiales asociados a la gestión del tráfico y a la operación y mantenimiento de las vías, terminales, estaciones, estructuras de señalización y otros sistemas auxiliares. Algunos de estos costes son fijos y dependen de las operaciones que se lleven a cabo de forma rutinaria de conformidad con las normas técnicas y de seguridad

[10] Véase Martín Cañizares (2015).

aplicables. En otros casos, como en el del mantenimiento de la vía, el coste es proporcional a la intensidad del tráfico, que refleja el desgaste asociado al peso que soporta la vía y su deformación debido al asentamiento de los terraplenes o a daños por el uso en los elementos estructurales. Por tanto, estos costes estarán condicionados por el número de *trenes* al año y, en el caso de la alta velocidad en España, se ha estimado de la siguiente manera:

$$C_{VÍA} = 5.920 + \left[(\text{Coste}_{tren}) \times 0.0034 \times (Trenes\right],$$

en euros por kilómetro, donde el parámetro Coste_{tren} oscila entre 0,22 y 0,40 euros por tren-kilómetro según el modelo de tren. Las expresiones para calcular el coste de mantenimiento de los desvíos siguen un patrón similar, ya que el desgaste que generan los trenes en estos elementos también depende del volumen de tráfico. Aunque existen diferentes tipos de desvíos en función de la velocidad de entrada y salida, la siguiente expresión proporciona una estimación media para España:

$$C_{DESVÍOS} = 30.154 + \left[(\text{Coste}_{tren}) \times 0.0119 \times (Trenes) \times (Desvíos / km)\right],$$

en euros por kilómetro, donde el parámetro Coste_{tren} oscila ahora entre 0,06 y 0,11 euros por tren-kilómetro dependiendo del modelo de tren específico.

Los costes de mantenimiento de los sistemas de señalización y seguridad también pueden estimarse utilizando funciones similares de costes fijos y variables, mientras que, en el caso de las estaciones, sus costes suelen ser proporcionales a su tamaño e intensidad de uso y difíciles de comparar. En general, la mayoría de las actividades de operación y mantenimiento de la infraestructura requieren personal especializado y los costes de mano de obra representan alrededor del 50 % del total. En resumen, y según UIC (2018), el promedio de los costes de operación y mantenimiento de un kilómetro de vía de alta velocidad puede estimarse en 90.000 euros al año.

En cuanto a los costes asociados a la prestación de servicios, pueden dividirse en tres categorías principales: la adquisición de material rodante, la operación y mantenimiento de ese material (principalmente, costes de mano de obra) y otros gastos generales.[11] Para calcular el número de servicios de tren necesario para satisfacer la demanda prevista, el proceso de evaluación debe basarse en un *plan de operación* que defina cómo será operada la nueva línea. Para dimensionar la flota de trenes no solo es necesario conocer la demanda anual de la línea, sino también si las características técnicas de los trenes permitirán que estos puedan operar dentro de los parámetros

[11] Este último componente incluye costes de venta y administración y, en algunos proyectos, se estima en torno al 10 % de los ingresos que provienen de los pasajeros (Campos y de Rus, 2009).

específicos de construcción de la línea. Por tanto, el *plan de operación* debe determinar dos aspectos: el número de trenes necesarios cada año (incluidas las sustituciones) y su tipo (en cuanto a capacidad, velocidad máxima, diseño interior, potencia, tracción, ancho de vía, carga por eje, sistema de señalización, etc.). En Europa, los costes de adquisición oscilan entre los 40.000 y los 80.000 euros por asiento, aunque el precio medio habitual para un equipamiento de 350 plazas puede alcanzar los 30-35 millones de euros, según UIC (2018). Algunos factores técnicos, como la composición, la masa, el peso, la potencia, la tracción, las características de inclinación o la configuración interna, pueden afectar notablemente a este precio medio.

Para decidir el número de trenes necesario en un corredor determinado es imprescindible calcular la demanda diaria en cada sentido mediante estimaciones anuales y mensuales, que deberán corregirse de acuerdo con los coeficientes de estacionalidad adecuados tanto para evitar interrupciones del servicio como para reducir al mínimo la capacidad ociosa. Es relativamente sencillo calcular la cantidad de servicios por sentido dividiendo la demanda diaria entre el número de asientos del tren multiplicado por el factor de carga objetivo establecido por el operador (generalmente entre el 90-95 %, aunque a veces un porcentaje menor, como el 70 %, puede ser aceptable). A partir del número de servicios diarios, la frecuencia y la cantidad de trenes requeridos para ofrecer un servicio básico se pueden obtener a partir de cálculos sencillos, añadiendo una cantidad adicional de trenes (factor de contingencia) para sustituir los que estén en procesos de mantenimiento, rotaciones, reposiciones o averías.

En cuanto a los costes de operación del material rodante, las estimaciones de los costes unitarios cambian en función del plan de operación de la línea. En España, estos valores oscilan entre 0,02 y 0,09 euros por asiento-kilómetro en función del modelo y la velocidad comercial.[12] En UIC (2018) el mantenimiento de un tren de alta velocidad, con un uso medio anual de 500.000 kilómetros, se estima en 2 euros por kilómetro, lo que supone un rendimiento de 1 millón de euros al año. Esta cantidad, sin embargo, no incluye el consumo de energía y otros costes de operación, que pueden multiplicar por diez esta referencia.

4.2. Proyectos de ferrocarril de cercanías

A diferencia de la alta velocidad, que generalmente implica la construcción de una nueva línea que sustituye total o parcialmente al ferrocarril convencional y que pretende competir con el transporte por carretera y aéreo, los proyectos de ferrocarril de cercanías presentan una mayor diversidad de tipologías. Habitualmente se incluyen en esta categoría intervenciones en los mercados ferroviarios interurbanos en distancias

[12] Véase González Franco (2015).

inferiores a 75 km, bien consistentes en mejoras menores de las infraestructuras existentes o bien la construcción de nuevas estaciones y/o provisión de nuevos servicios. Según ADIF (2018), estos proyectos incluyen la construcción en campo abierto de nuevas líneas y variantes de trazado (cuya evaluación comparte varios rasgos comunes con los proyectos de alta velocidad), la construcción de vías adicionales en líneas existentes (desdoblamiento de vías, construcción de una tercera o cuarta vía), la construcción de nuevas estaciones, terminales y aparcamientos en las líneas existentes (como terminales de mercancías, aparcamientos disuasorios o intercambiadores de transporte público, entre otros), la renovación de las vías y estaciones existentes, la re-electrificación o la mejora de las instalaciones de seguridad o de comunicación, nuevos túneles o viaductos e incluso la eliminación o la protección de los pasos a nivel para reducir los accidentes.[13]

En el caso de los proyectos de cercanías de nueva construcción, y siempre que se cumplan los umbrales mínimos de demanda (véase la **Sección 3**), en la mayoría de los casos se requieren inversiones para adaptar las infraestructuras prexistentes a las nuevas necesidades. La decisión de poner en servicio la línea de cercanías puede implicar la construcción de nuevas estaciones para mejorar la accesibilidad. Evidentemente, el coste de una nueva estación de cercanías está directamente relacionado con su demanda estimada que, a su vez, condicionará su tamaño. En España, el rango de costes de construcción de estas estaciones se puede calcular tomando como referencia los planes de infraestructuras ferroviarias de cercanías de Barcelona y Madrid que llevó a cabo el Ministerio de Fomento[14] en 2009 y 2018, respectivamente. En el caso de Barcelona, se programó la construcción de cinco nuevas estaciones con un coste unitario de entre 7 y 17 millones de euros, a una media de 11 millones de euros por estación. En Madrid, la construcción de cuatro nuevas estaciones se presupuestó en 37 millones de euros, con un coste medio de 9 millones de euros por estación.[15]

---

[13] En España, los servicios de cercanías tienen solo 30 años de antigüedad, ya que el operador público, *Renfe*, no creó una unidad de cercanías hasta 1989 en Madrid y Barcelona, aunque posteriormente se implantaron servicios suburbanos en 12 áreas adicionales. En los últimos años se han realizado varias inversiones estratégicas para favorecer los servicios de cercanías. Sin embargo, al estar basados en el ancho de vía ibérico existente, 1,668 m, frente al ancho estándar o internacional de 1,435 m para la alta velocidad, compiten por la financiación con los servicios de media y larga distancia, con los que comparten infraestructura, material rodante y criterios de planificación.

[14] En enero de 2020 el Ministerio de Fomento cambia su denominación por Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. En el documento seguiremos utilizando la denominación anterior, puesto que ese ha sido el nombre oficial vigente durante la mayor parte del periodo analizado en este informe.

[15] Además de por su tamaño, el coste de construcción de cada estación viene determinado por su localización, sus características funcionales y el coste del suelo. De acuerdo a los datos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, el precio del suelo en Madrid o Barcelona es entre un 10 y un 30 % más alto que en cualquier otra ciudad española con una red de transporte suburbana significativa,

Sin embargo, en la implantación de los servicios de cercanías suele ser más habitual evaluar proyectos relacionados con la rehabilitación o renovación de estaciones que ya existen. Estos proyectos requieren una serie de actuaciones específicas en función de cada caso y, en consecuencia, los costes pueden variar significativamente. De nuevo, si se toma como referencia España, es posible obtener un coste medio por estación a partir de los proyectos más recientes de Barcelona y Madrid. En el primer caso, se ha estimado una inversión total de 394,5 millones de euros para la modernización de 84 estaciones de la red, con un coste medio de 4,7 millones de euros por estación. Cifras similares corresponden a Madrid, donde se presupuestó una inversión de 350 millones de euros para la renovación de 88 estaciones, con un coste medio de 4 millones de euros por estación.

Por último, cabe destacar que, para que los servicios de cercanías se integren en la red ya existente, será necesario conectarlos con otras líneas de transporte público urbano e interurbano (metro, tranvía, ferrocarriles regionales o estaciones de autobuses). Por tanto, los intercambiadores son esenciales para reducir el tiempo de transbordo y aumentar el área de influencia de los destinos. En ocasiones, la construcción de intercambiadores es muy costosa debido a la dificultad de conectar dos o más redes a diferentes niveles o la necesidad de proporcionar la infraestructura vial necesaria para construir un nodo intermodal. En España, el coste medio de estas instalaciones oscila entre los 35 y los 55 millones de euros, pero depende en gran medida de la complejidad de la red.

En cuanto a los proyectos de ferrocarril de cercanías relacionados con los cambios en las condiciones de operación de los servicios, el cálculo del número de servicios diarios debe tener en cuenta que, para cumplir los requisitos de «eficiencia global y sostenibilidad» establecidos en la **Sección 3**, deben programarse un mínimo de 30-40 servicios diarios por sentido. El número máximo de servicios de una línea sería de unos 100 por sentido, lo que supondría un tren al menos cada 10 minutos a lo largo del día, una frecuencia que se cumple habitualmente en las grandes aglomeraciones urbanas. La frecuencia específica (que puede variar a lo largo del día y los fines de semana) dependerá de la demanda estimada y del número de estaciones. Cuanto más densa y extensa sea la línea, mayor será la frecuencia requerida, aunque pueden interpolarse en horas punta servicios de lanzadera o semi-directos.

La ubicación de las estaciones también es importante. En general, debido a los efectos de la red, las estaciones centrales tienen una mayor demanda que las situadas en ramales periféricos. En cualquier caso, también hay que tener en cuenta el volumen de actividad

---

tales como Valencia, Bilbao o Sevilla, lo cual puede servir como un factor de corrección para esta estimación.

económica, su estacionalidad y el nivel de empleo y residencial que exista en la zona de influencia del proyecto de cercanías, así como los servicios que oferten otros modos de transporte. Teniendo en cuenta todas estas variables, el procedimiento para calcular el número de trenes es bastante similar al descrito para las líneas de la alta velocidad.

Los costes de adquisición de material rodante de cercanías en España son difíciles de estimar, ya que ha pasado más de una década desde la última compra importante de material rodante por parte de *Renfe*. Sin embargo, recientemente se ha anunciado la decisión de llevar a cabo un concurso para la compra de 211 trenes de alta capacidad para las grandes áreas metropolitanas por un importe de 2270,5 millones de euros. De este total, 176 trenes serán de 100 metros, mientras que otros 35 alcanzarán los 200 metros. Tomando como referencia estas cifras, el coste medio ponderado de adquisición sería de 10,75 millones de euros por tren.

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento, la carencia de datos desagregados en la información publicada por *Renfe* y ADIF dificulta la posibilidad de analizar en detalle los costes de estos servicios, así como la operación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria correspondiente. Sin embargo, en un reciente informe del Ministerio de Fomento (2017), los costes totales de operación de los servicios de cercanías operados por *Renfe* se estimaron globalmente en 607 millones de euros (en euros de 2019) durante el año 2015. Por tanto, si se divide esta cantidad por el número de trenes por kilómetro que ofrecían los servicios de cercanías de 2015, se obtiene un coste unitario de 14,15 euros por tren por kilómetro. Sin embargo, estos costes también comprenden los pagos que *Renfe* realizó a ADIF en concepto de cánones de acceso y los costes de servicio por el uso de la red, de manera que la cifra corresponde tanto al coste derivado de la operación y del mantenimiento de la red como al coste de operación de los servicios. Según Vasallo *et al.* (2017) y la información adicional del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, este valor se podría desglosar en un coste unitario de mantenimiento de la red de 6,28 euros por tren-kilómetro y de 7,87 euros por tren-kilómetro correspondiente a los costes unitarios de operación de los servicios de cercanías.

5. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD

Desde el punto de vista económico, un mercado de transporte en equilibrio se puede interpretar de dos maneras diferentes, pero equivalentes entre sí. Por una parte, puede verse como una asignación concreta de recursos asociados a una actividad de transporte que se lleva a cabo mediante la interacción de diferentes agentes económicos (gobierno, administrador de la infraestructura, productores de servicios, usuarios y el resto de la sociedad), cuyos resultados pueden medirse en términos de precios (generalizados) y niveles (y calidad) de servicio. Por otro lado, la distribución de estos resultados conlleva ganancias y pérdidas para cada uno de estos agentes, las cuales pueden medirse a través de los excedentes que obtiene cada grupo de ellos. Así, si un proyecto de transporte ferroviario (por ejemplo, la construcción de una nueva línea de HSR) se define como una alteración externa del equilibrio inicial (en comparación con el correspondiente contrafactual: mantener el ferrocarril convencional), la evaluación de sus repercusiones sobre el bienestar social puede abordarse desde dos aproximaciones diferentes, pero también equivalentes entre sí: identificando y midiendo los cambios en el uso de los recursos existentes y la disposición a pagar (*WTP*) de los nuevos usuarios o bien identificando y midiendo las variaciones en los excedentes de cada uno de los grupos de agentes sociales afectados por el proyecto.

5.1. Medición de los cambios en el bienestar social

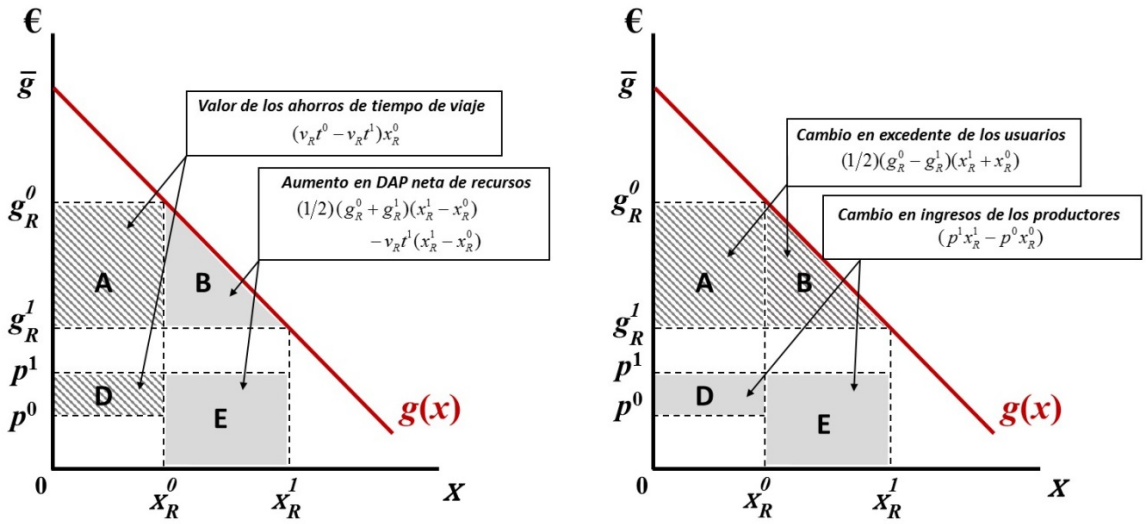
Para ilustrar estas ideas,[16] vamos a evaluar un proyecto de transporte que consiste en construir y explotar una nueva línea de alta velocidad para remplazar un servicio ferroviario convencional que ya existe, como se muestra en la **Figura 5.1**, donde $g(x)$ representa una estimación lineal de la función inversa de demanda en el mercado ferroviario en términos del precio generalizado de los usuarios, $g = p + vt$, donde p representa el precio monetario, v es el valor del tiempo de viaje y t es el tiempo total de viaje. Para simplificar el análisis, no se han representado los costes de inversión y operación.

El equilibrio inicial («sin proyecto») viene dado por (g_R^0, x_R^0), donde g_R^0 representa el precio generalizado para los usuarios del tren convencional: $g_R^0 = p^0 + v_R t^0$, donde p^0 y t^0 denotan el precio monetario del tren convencional y el tiempo total de viaje, respectivamente, y v_R es el valor del tiempo para los usuarios del ferrocarril. x_R^0 es la

[16] Esta sección se basa en el modelo general que ya se ha presentado en la **PARTE I**.

demanda ferroviaria existente. Supondremos que el proyecto implica una reducción del precio generalizado $(g_R^0 > g_R^1)$ debido a una disminución significativa del tiempo de viaje ($t^1 < t^0$), que compensa el hecho de que los servicios de HSR son más caros que los servicios del tren convencional ($p^1 > p^0$). Nótese que $(x_R^1 - x_R^0)$ representa la demanda generada por el nuevo servicio ferroviario.

Figura 5.1. Cambios en el bienestar social asociados con la demanda existente y la demanda generada en el mercado ferroviario

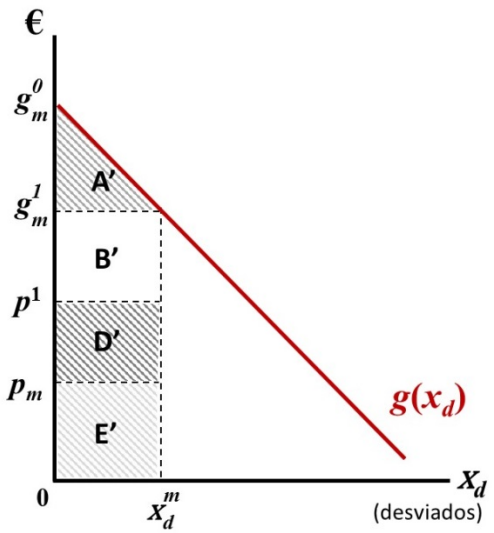


Para cada uno de los años considerados dentro del horizonte de evaluación del proyecto), sus efectos sobre el bienestar social (denominados ΔW) pueden medirse, en una primera aproximación, a través de las variaciones en el uso de los recursos y de los cambios en la disposición a pagar por los nuevos viajes, tal y como se muestra en el panel izquierdo de la **Figura 5.1**. Suponiendo que la disposición a pagar del tráfico existente no haya cambiado, el valor de su ahorro de tiempo se puede considerar como un cambio positivo en los recursos, según se define en las **áreas A + D**, que se calcula como $(g_R^0 - g_R^1)x_R^0 + (p^1 - p^0)x_R^0$ o, de forma equivalente, $(v_R t^0 - v_R t^1)x_R^0$, mientras que el aumento de la disposición a pagar de los usuarios por los nuevos viajes (descontando el tiempo invertido en estos viajes) viene dado por las **áreas B + E** o $(1/2)(g_R^0 + g_R^1)(x_R^1 - x_R^0) - v_R t^1 (x_R^1 - x_R^0)$. Por tanto, para la demanda existente y generada en los mercados ferroviarios, el aumento del bienestar social (sin considerar todos los costes de inversión y de operación que se tendrán en cuenta posteriormente) se calcula como:

$$\Delta W_R = (v_R t^0 - v_R t^1)x_R^0 + \frac{1}{2}(g_R^0 + g_R^1)(x_R^1 - x_R^0) - v_R t^1 (x_R^1 - x_R^0). \qquad \textbf{(5.1)}$$

Con la **Figura 5.2** pueden analizarse las repercusiones del proyecto en otros mercados de transporte, donde x_d representa la demanda desviada desde cada uno de los otros modos de transporte relevantes de este corredor (coche, autobús, transporte aéreo, por ejemplo) y g_m^0 es el precio generalizado para los usuarios de cada modo de transporte alternativo: $g_m^0 = p_m + v_m t_m$, donde p_m y t_m denotan el precio monetario del modo de transporte alternativo y el tiempo total de viaje, respectivamente, y v_m es el valor del tiempo para estos usuarios. Si se define al usuario indiferente del modo de transporte alternativo *m* como aquel cuyo tiempo total de viaje (incluidos el acceso, el egreso, la espera y el tiempo a bordo del vehículo) es tal que $g_m^0 = p^0 + v_m t^0$, todos aquellos usuarios con un tiempo total de viaje superior al del usuario indiferente decidirán viajar en el modo de transporte alternativo. Una vez implantado el nuevo servicio de alta velocidad, el precio generalizado se reduce a $g_m^1 = p^1 + v_m t^1$ y, debido a esta disminución, x_d^m representa la demanda desviada desde el modo *m* hacia el mercado ferroviario. El nuevo usuario indiferente es aquel para el que, con el nuevo precio generalizado, se cumple $g_m^1 = p_m + v_m t_m$.

Figura 5.2. Cambios en el bienestar social asociados con la demanda desviada



El beneficio neto asociado a la línea de HSR resulta entonces de la disposición total a pagar de los usuarios desviados, es decir, **área A' + B' + D' + E'** menos el tiempo que estos invierten en el nuevo modo de transporte (**área B'**). Consideramos que todos los demás modos son competitivos y sus costes marginales corresponden a sus respectivos precios iniciales. Por esta razón, los beneficios de la demanda desviada provienen del

ahorro de tiempo de los usuarios desviados desde el modo *m* (**áreas A' + D'**)[17] y de los recursos que ahorra el operador de este modo (**área E'**). Por lo tanto, para la demanda desviada desde el modo *m*, consideramos que el aumento del bienestar social (sin incluir los costes de operación de la línea HSR de esta demanda desviada, que se tendrán en cuenta posteriormente) se calcula como:[18]

$$\Delta W_d = \frac{1}{2}(g_m^0 + g_m^1)x_d^m - v_m t^1 x_d^m. \qquad \textbf{(5.2)}$$

El segundo procedimiento para identificar y medir los efectos sobre el bienestar social de un proyecto de inversión en HSR consiste en calcular las variaciones en los excedentes de todos los agentes sociales involucrados en este proyecto. Esta aproximación es útil a la hora de analizar cómo se distribuyen los beneficios y los costes sociales del proyecto entre los diferentes agentes, haciendo explícitas las transferencias (incluyendo los impuestos y sin ajustes de precios sombra) y proporcionando a priori información sobre quién se beneficia y quién sale perjudicado como resultado del proyecto.[19] Dado que finalmente se suman los cambios en todos los excedentes, las transferencias se cancelan entre sí y el resultado global en cuanto a bienestar social será igual al que se obtiene al utilizar la aproximación de las variaciones en los recursos y la disposición a pagar.

Para ilustrar esta idea se puede utilizar el panel derecho de la **Figura 5.1**, que representa de nuevo lo que sucede en el mercado ferroviario. El cambio en el excedente (ΔCS) de los usuarios existentes y nuevos asociados a la reducción del precio generalizado de g_R^0 a g_R^1 viene dado, respectivamente, por las **áreas A + B** o mediante la «regla de la mitad» $(1/2)(g_R^0 - g_R^1)(x_R^1 + x_R^0)$. La variación de los ingresos de los productores queda definida por las **áreas D + E** o $(p^1 x_R^1) - (p^0 x_R^0)$. El excedente de los contribuyentes (ΔGS) tampoco está representado, pero debería incluir los impuestos que pagan los usuarios como la diferencia entre los precios del productor y el comprador y los

[17] Téngase en cuenta que el ahorro de tiempo de los usuarios desviados (representado por las **áreas A' + D'**) es diferente a $(1/2)v_m(t^0 - t^1)x_d^m$ a menos que $p_m = p^1$.

[18] Tal y como indica Nash (2014), no es sencillo estimar las repercusiones asociadas a la mejora de los servicios ferroviarios en otros modos. Los efectos no se limitan únicamente a la desviación de tráfico, sino que también cambia la forma de utilizar la capacidad, los costes externos y las estrategias comerciales en los otros modos. Dado que muchos de estos efectos tienen signos opuestos, el supuesto de que «el precio es igual a los costes marginales» solo simplifica el análisis, suponiendo que la mayoría de estas repercusiones se anulan entre sí.

[19] La distinción entre los diferentes agentes no significa que sean los beneficiarios finales de la mejora en el transporte. La existencia de factores fijos, como el terreno, aunque no cambia el valor del resultado final del proyecto, puede modificar completamente la distribución del excedente social.

impuestos que pagan los productores por sus factores de producción. Por lo tanto, los ingresos deben calcularse netos de impuestos y las transferencias entre los diferentes agentes deben hacerse explícitas. La variación del excedente de los trabajadores (ΔWS, que tampoco está representada, pero se supone que es cero) incluiría los ajustes entre lo que reciben y sus costes de oportunidad privados en función de su ocupación inicial,[20] mientras que las externalidades deberían estimarse y cuantificarse a través de los cambios en el excedente del resto de la sociedad (ΔRS). Por lo tanto, para la demanda existente y generada en los mercados ferroviarios, el aumento del bienestar social (sin considerar todos los costes de inversión y de operación que se tendrán en cuenta posteriormente) se calcula como:

$$\Delta W_R = \frac{1}{2}(g_R^0 - g_R^1)(x_R^1 + x_R^0) + (p^1 x_R^1 - p^0 x_R^0). \qquad \textbf{(5.3)}$$

Con respecto a lo que sucede en otros mercados de transporte, la **Figura 5.2** muestra que la variación del excedente de los usuarios desviados viene dada ahora por el **área A'** y la variación de los ingresos de los productores de servicios de HSR por las **áreas D' + E'**, es decir, $p^1 x_d^m$. Para simplificar el cálculo, se considera el supuesto de que hay competencia en todos los demás modos, la variación en los excedentes de los productores en dichos mercados es nula:

$$\Delta W_d = \frac{1}{2}(g_m^0 - g_m^1)x_d^m + p^1 x_d^m. \qquad \textbf{(5.4)}$$

Como era de esperar, ambas aproximaciones conducen al mismo resultado en cuanto a las áreas resultantes correspondientes, así como respecto a sus expresiones analíticas: la suma de **(5.1)** + **(5.2)** es igual a **(5.3)** + **(5.4)**.

La variación de los costes de operación e inversión (que no se representan en las figuras anteriores), ($C^0 - C^1$) completaría la variación total del bienestar social, donde C^1 correspondería a los costes de la línea HSR para la demanda existente, generada y desviada y C^0 a los costes (evitados) del tren convencional.

Es importante destacar que cuando se miden las variaciones en el bienestar social mediante la aproximación basada en las variaciones en el uso de los recursos y en la disposición a pagar, los pagos internos que representan transferencias entre diferentes agentes (por ejemplo, los cánones de acceso que pagan las empresas operadoras a los administradores de la infraestructura) se cancelan y todos los precios y costes deben valorarse con respecto a sus costes sociales de oportunidad. Esto implica, por ejemplo,

[20] Véase la **PARTE I** para una discusión en mayor profundidad de esta idea.

que los costes se deben calcular netos de impuestos (siempre que la oferta de *inputs* sea perfectamente elástica) y que los costes de mano de obra (y otros *inputs*) deben ajustarse en función de su precio sombra cuando corresponda.[21] Además, se supone que los cambios en los costes externos también se incluyen en ($C^0 - C^1$).

De forma alternativa, cuando el incremento en el bienestar social se mide mediante las variaciones en los excedentes de los diferentes agentes, los precios del excedente del productor se deben valorar netos de impuestos, los costes se deben calcular con impuestos y, en general, no hay ajustes por precios sombra. Además, los cambios en los costes externos se excluyen de los costes del productor y se incluyen en el excedente del resto de la sociedad (ΔRS).

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la variación en el bienestar social medido mediante ambas aproximaciones coincide:

$$\begin{aligned}\Delta W &= \Delta CS + \Delta PS + \Delta WS + \Delta TS + \Delta RS = \\ &= \Delta WTP - \Delta \text{Recursos},\end{aligned}$$

y ambos pueden utilizarse para calcular el valor actual neto social (VAN_S) del proyecto sumando las variaciones descontadas en el bienestar social a lo largo del horizonte de evaluación (h = 1...T) con la correspondiente tasa de descuento social (r):

$$VAN_S = \sum_{h=0}^{T} \frac{\Delta W_h}{(1+r)^h}.$$

En cualquier caso, hay que destacar que, una vez elegido uno de los métodos, es necesario ser coherente con él: el uso incorrecto de cualquiera de ellos conduce fácilmente a la doble contabilización. En la mayoría de los casos la decisión depende del grado de desagregación de la información disponible y, por tanto, es más común en la práctica la aproximación que tiene en cuenta la variación en la disposición a pagar y en los recursos. Sin embargo, la suma de los excedentes netos facilita mejor la identificación de quiénes (en principio) ganan y quiénes pierden con el proyecto.

Por último, cuando únicamente se tienen en cuenta el flujo de ingresos (px) y los costes de los productores (cx), desde el punto de vista del excedente del productor, la rentabilidad financiera del proyecto viene determinada por el valor actual neto financiero (VAN_F):

[21] Véase la **PARTE I** de este informe para obtener más información sobre este tema.

$$VAN_F = \sum_{h=0}^{T} \frac{\Delta PS_h}{(1+r_f)^h},$$

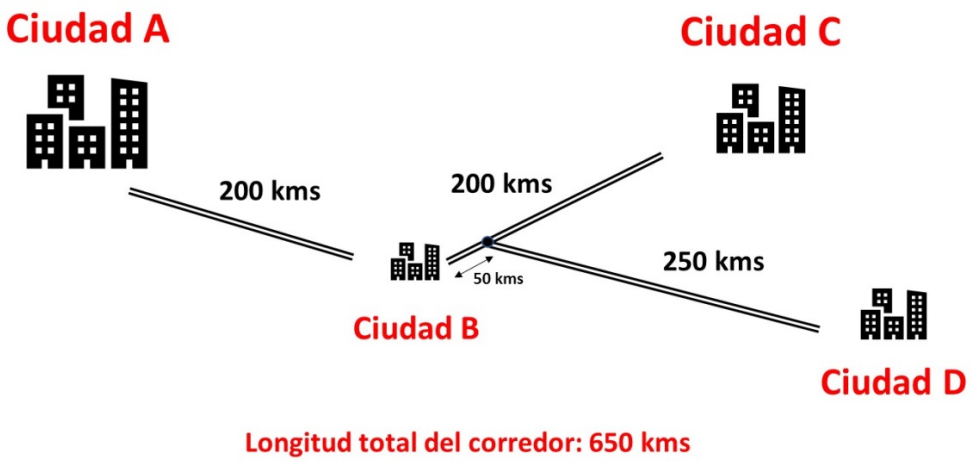
donde r_f representa la tasa de descuento financiero.

5.2. El análisis coste-beneficio de una nueva línea de alta velocidad en la práctica

En esta sección se ilustra la metodología anterior de forma práctica mediante la evaluación de un proyecto ferroviario hipotético que consiste en la construcción y explotación de una nueva línea ferroviaria de alta velocidad que conecta directamente tres grandes ciudades (*A*, *C* y *D*), con una parada intermedia compartida en una ciudad más pequeña, *B*. La longitud total de la red, 650 kilómetros, se divide en cinco tramos o subtramos, tal y como se muestra en la **Figura 5.1**, {*ABC* (400 km), *AB* (200 km), *BC* (200 km), *ABD* (500 km) y *BD* (300 km)}, y hay cuatro modos de transporte alternativos (transporte aéreo, autobuses, coches y tren convencional) que actualmente prestan sus servicios en ellos. Se asume que los servicios de tren convencional dejarán de prestarse tras la construcción de la línea HSR, y que dos empresas diferentes desintegradas verticalmente serán las encargadas de gestionar y explotar la infraestructura y los servicios de HSR.

Suponemos que la construcción de los subtramos *AB* y *BC* comienza a principios del año 2020 y tiene una duración de 5 años, por lo que el tramo completo *ABC* comenzará a operar a principios del año 2025. La construcción del subtramo *BD* se iniciará en 2025 y durará 3 años, por lo que el tramo completo *ABD* estará operativo a principios de 2028. Se va a llevar a cabo un ACB ex ante estimando el *VANs* de este proyecto mediante la evaluación de todas las magnitudes monetarias, en euros de 2019, con un horizonte de evaluación de 50 años (2020-2069) y una tasa de descuento social del 3 %.

Figura 5.3. Descripción del proyecto: una historia de cuatro ciudades



El proyecto se comparará con una alternativa de «*do-nothing*», en la que el corredor descrito se sigue atendiendo por parte de los cuatro modos de transporte iniciales. Para realizar la evaluación será necesario utilizar diversos supuestos sobre los costes y los parámetros de la demanda tal y como se describe a continuación. En la medida en que se disponga de información más fiable o desagregada, esta debería utilizarse para remplazar o completar estos supuestos, especialmente en los casos de ACB ex post.

5.2.1. Supuestos sobre los costes y parámetros de la demanda

Como se ha descrito en las secciones anteriores, los costes de construcción y operación de una nueva línea de HSR pueden agruparse en cuatro partidas principales. En primer lugar, los *costes de construcción de la infraestructura*, que incluyen la planificación y expropiación de los terrenos, los trabajos de construcción (incluidos los materiales y la mano de obra) y la construcción de estaciones. Aunque estos valores dependen de las características específicas del proyecto (orografía, valor del terreno, etc.), en el ejemplo de esta sección, supondremos un coste medio de construcción de 15.000.000 de euros por kilómetro, de acuerdo con las sugerencias más recientes de la UIC (2018). De este modo, el coste total de construcción del proyecto (650 km) ascenderá a 9750 millones de euros, que se distribuirán durante los ocho años de construcción (2020-2027) de acuerdo con los siguientes porcentajes: 10 %, 10 %, 20 %, 20 %, 15 %, 10 %, 10 % y 5 %. Supondremos adicionalmente que, transcurridos 50 años, y debido a la obsolescencia técnica, el valor residual de la infraestructura es cero.

Los *costes de operación y mantenimiento de la infraestructura* también se calculan con un valor medio de 100.000 euros por kilómetro, una vez que comience a funcionar cada tramo de la red. Este valor medio también se ajusta a las sugerencias de la UIC (2018) y engloba varios componentes (electrificación, sistemas de señalización, características de la vía, condiciones meteorológicas, etc.) que pueden variar en función de la intensidad de la operación y las características del material rodante.

Los *costes de adquisición de material rodante* se calculan tomando como referencia un valor unitario de 30 millones (en euros de 2019) para un modelo de tren de 350 plazas con una vida útil de 30 años (UIC, 2018). Se considera un único modelo de tren para simplificar el análisis, aunque en la práctica es habitual que coexistan diferentes especificaciones y tipos de servicios dentro de la misma línea de alta velocidad. Finalmente, los *costes de operación y mantenimiento del material rodante* se estiman en 10 millones (en euros de 2019) por tren y año, tal y como se sugiere en Campos *et al.* (2009).

Se considerará un tipo de IVA constante del 20 % durante todo el horizonte de evaluación en todos los mercados correspondientes.[22] En cuanto al precio sombra de la mano de obra, finalmente se ha supuesto un valor medio de uno, como media ponderada de un coste de oportunidad del desempleo inferior a uno (como en los salarios sombra calculados por Florio *et al.*, 2011) y superior a uno para la mano de obra desviada desde el resto de la economía (teniendo en cuenta el valor perdido de la productividad marginal de la mano de obra en el sector privado y contemplando, por ejemplo, los impuestos indirectos o la contribución a la seguridad social que pagan los empleadores), tal y como se discute en la **PARTE I** de este informe. Se supone que los costes crecen en valores reales de acuerdo con la tasa de crecimiento de la renta real, con una elasticidad entre coste e ingreso igual a uno. Todos los supuestos sobre los parámetros de costes anuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5.1. Supuestos sobre los parámetros de costes anuales

Parámetros	Valores	Unidades
Costes de construcción de la infraestructura	15.000.000	€ /km
Costes de operación y mantenimiento de la infraestructura	100.000	€ /km
Costes de adquisición de material rodante	30.000.000	€ /tren
Costes de operación y mantenimiento de material rodante	10.000.000	€ /tren

En cuanto a los parámetros de demanda, es necesaria una estimación de la cantidad total de usuarios en el corredor y de la distribución modal «con proyecto» para cada uno de los cinco tramos descritos en la **Figura 5.3** durante todos los años que engloba el horizonte de evaluación. Esta estimación se puede realizar mediante diferentes procedimientos, como se ha descrito anteriormente, y se enfrenta a un inevitable grado de incertidumbre. En este ejemplo sería arbitrario asignar cualquier volumen de demanda a la línea. Por el contrario, es más informativo invertir el proceso y en lugar de estimar la demanda y luego los correspondientes valores netos actualizados de los beneficios y costes privados y sociales, calcular la demanda mínima que hace que el VAN_F y el VAN_S sean iguales a cero y discutir sus implicaciones para el proyecto. Concretamente, se van a calcular los requisitos de demanda mínima que corresponden al primer año de operación en cada tramo y, posteriormente, se supondrá que dicha demanda crecerá al mismo ritmo que la renta real, con una elasticidad renta de uno. A efectos de este ejercicio, las tasas medias de crecimiento anual de la renta real desde 2019 hasta 2025 se han tomado de las estimaciones del Fondo Monetario Internacional (FMI) para el PIB español, mientras que para el resto de la vida del proyecto se ha

[22] Se ha supuesto que todos los costes no laborales son nacionales, no se desvían de otras actividades económicas y están sujetos al mismo tipo de impuestos indirectos.

supuesto tasas de crecimiento de la demanda decrecientes, con el objeto de tener en cuenta los cambios demográficos y la evidencia empírica en líneas de HSR ya existentes.

La estimación de la demanda para la línea HSR se completará suponiendo un reparto modal exógeno que se resume en la **Tabla 5.2**, donde se considera que los servicios de transporte aéreo únicamente operan en los tramos o secciones *ABC* y *ABD* (es decir, la ciudad *B* no tiene aeropuerto) y que en la subsección *AB* no hay demanda desviada desde el autobús.

Tabla 5.2. Demanda para la línea HSR por origen y sección

Demanda para la línea HSR	***Sección ABC***	***Sección ABD***	***Subsección AB***	***Subsección BC***	***Subsección BD***
…desviada desde el transporte aéreo	30 %	40 %	0 %	0 %	0 %
… desviada desde el transporte en autobús	10 %	10 %	0 %	10 %	10 %
… desviada desde el transporte en coche	25 %	10 %	40 %	20 %	20 %
… desviada desde el transporte en tren convencional	25 %	35 %	55 %	65 %	65 %
Demanda generada	10 %	5 %	5 %	5 %	5 %

Para cada uno de los cinco modos de transporte (incluida la línea de HSR), en la **Tabla 5.3** se resumen los tiempos de viaje en cada sección, desglosados en tres componentes principales: tiempo de acceso y egreso, tiempo de espera y tiempo a bordo del vehículo. Los diferentes valores del tiempo de viaje se han calculado para cada modo a partir de los valores de HEATCO (2006) y suponiendo diferentes distribuciones de motivos de viaje (entre negocios, viajes de ida y vuelta al trabajo y otros motivos) en los tramos largos (ABC + ABD) y en los cortos (AB + BC + BD). También se han supuesto tiempos de espera de 20 minutos para todos los modos (40 minutos para el transporte aéreo) y tiempos de acceso y egreso de 40 minutos (ABC + ABD) y 30 minutos (AB + BC + BD), siendo de 75 minutos para el transporte aéreo. En el caso del coche, se ha considerado que estos tiempos son cero. Estos valores, que se resumen en la **Tabla 5.4**, se utilizarán para calcular el ahorro de tiempo. Según la Comisión Europea (2015), es habitual penalizar el valor del tiempo de espera, acceso y egreso con un factor de 1,5 con respecto al tiempo a bordo del vehículo y también se considera que estos valores crecerán a lo largo del tiempo en función de la evolución de la renta real con una elasticidad de 0,5.

Tabla 5.3. Tiempo de viaje por modo y sección

(en horas)	*Sección ABC*	*Sección ABD*	*Subsección AB*	*Subsección BC*	*Subsección BD*
HSR					
Tiempo de acceso/egreso	0,66	0,66	0,50	0,50	0,50
Tiempo de espera	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tiempo en el vehículo	1,80	2,37	0,90	0,92	1,53
Avión					
Tiempo de acceso/egreso	1,25	1,25	-	-	-
Tiempo de espera	0,66	0,66	-	-	-
Tiempo en el vehículo	1,08	1,42	-	-	-
Autobús					
Tiempo de acceso/egreso	0,66	0,66	0,50	0,50	0,50
Tiempo de espera	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tiempo en el vehículo	4,25	5,00	-	3,25	2,75
Coche					
Tiempo de acceso/egreso	0	0	0	0	0
Tiempo de espera	0	0	0	0	0
Tiempo en el vehículo	3,52	4,00	1,73	2,27	3,23
Tren convencional					
Tiempo de acceso/egreso	0,66	0,66	0,50	0,50	0,50
Tiempo de espera	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tiempo en el vehículo	4,00	5,00	2,00	2,00	3,00

Tabla 5.4. Valor del tiempo de viaje por modo

(en euros de 2019 por hora)	*Tiempo en el vehículo*		*Tiempo de acceso/egreso*		*Tiempo de espera*	
Secciones	*ABC ABD*	*AB BC BD*	*ABC ABD*	*AB BC BD*	*ABC ABD*	*AB BC BD*
Avión	30,96	–	46,44	–	46,44	–
Autobús	9,53	10,07	14,30	15,10	14,30	15,10
Coche	15,90	17,98	23,85	26,97	23,85	26,97
Tren convencional	15,90	17,98	23,85	26,97	23,85	26,97

Para completar los supuestos básicos del modelo es necesario estimar los precios y costes unitarios de cada uno de los modos de transporte y tramos de la red. En el primer caso, tal y como se muestra en la **Tabla 5.5**, se ha partido del supuesto de un único precio monetario (medio) exógeno para cada pasajero de transporte aéreo, autobús y ferrocarril compatible con proyectos reales en distancias comparables. Sin embargo, en el caso de los usuarios de automóvil, para la estimación de los costes de uso del vehículo se ha seguido un enfoque más desagregado, teniendo en cuenta sus diferentes componentes (combustible, lubricantes, reparaciones, seguros, etc.), el hecho de que algunos de ellos impliquen el pago de otros impuestos (por ejemplo, el combustible) y

la ocupación media por vehículo (1,7 pasajeros). Para el resto de los costes unitarios evitables, simplemente se han convertido en precios-sombra y se ha supuesto una tasa impositiva del 10 %, como se muestra en el cuadro. Los valores resultantes son comparables a los existentes en algunas rutas en España (véase Betancor y Llobet, 2015).

Tabla 5.5. Precios y costes unitarios por modo y sección

(en euros de 2019 por pasajero)	*Sección ABC*	*Sección ABD*	*Subsección AB*	*Subsección BC*	*Subsección BD*
Precios					
HSR	40,00	40,00	20,00	20,00	20,00
Avión	100,00	100,00	-	-	-
Autobús	30,00	35,00	-	18,00	20,00
Coche	62,45	74,95	30,34	35,69	53,53
Tren convencional	30,00	30,00	15,00	15,00	15,00
Costes unitarios evitables					
HSR	-	-	-	-	-
Avión	90,00	90,00	-	-	-
Autobús	27,00	31,50	-	16,20	18,00
Coche	43,37	52,04	21,07	24,78	37,17
Tren convencional	27,00	27,00	13,50	13,50	13,50

5.2.2. Cálculo de beneficios y costes

Una vez establecidos los principales parámetros de la evaluación, en esta sección se describe brevemente la metodología que se ha utilizado para calcular los beneficios y costes que se van a emplear en el ACB. Tal y como se presentó en las ecuaciones **(5.1)** y **(5.2)** de la sección anterior, la aproximación basada en la variación de los recursos y en cambios en la disposición a pagar de los nuevos usuarios nos permite obtener, para cada tramo y año, los siguientes beneficios:

1. El *valor del ahorro de tiempo* para los usuarios del tren convencional y para los pasajeros desviados (desde el transporte aéreo, el autobús y el automóvil). Estos ahorros se calculan con respecto al tiempo de viaje del HSR, sumando las variaciones en el tiempo de acceso y egreso, el tiempo de espera y el tiempo a bordo del vehículo, según la **Tabla 5.3**. Los valores de tiempo correspondientes son los de la **Tabla 5.4**, a los que se supone un crecimiento a lo largo del horizonte de evaluación en función de la variación de la renta real.
2. El *ahorro de costes de operación* asociados a la prestación de servicios a los usuarios de trenes convencionales y a la desviación de la demanda desde otros

modos, multiplicando las cifras de tráfico correspondientes por los costes unitarios.

3. La disposición a pagar por los nuevos servicios del tráfico generado (neto de recursos), en función de los precios generalizados (*g*) por modo y tramo cada año. Así, para el modo *m*, este cálculo viene dado por

$$g_m^0 = p_m + {}^{access}v_m \cdot {}^{access}t_m + {}^{wait}v_m \cdot {}^{wait}t_m + {}^{in}v_m \cdot {}^{in}t_m ,$$

en el caso del escenario «sin proyecto», donde p_m representa el precio monetario del modo inicial y los otros componentes representan el valor del tiempo de acceso, de espera y a bordo del vehículo, respectivamente.

En el caso del escenario «con proyecto», la definición correspondiente sería:

$$g_m^1 = p^1 + {}^{access}v_m \cdot {}^{access}t^1 + {}^{wait}v_m \cdot {}^{wait}t^1 + {}^{in}v_m \cdot {}^{in}t^1 ,$$

en la que los precios no incluyen impuestos.

En cuanto a los costes, la inversión anual (neta de impuestos) se obtiene distribuyendo la inversión total durante el periodo de construcción. La misma corrección fiscal debe realizarse para obtener los costes anuales de operación y mantenimiento de la infraestructura, que se calculan multiplicando los costes unitarios por el número de kilómetros en operación cada año.

Para determinar los costes del material rodante hay que calcular primero la cantidad de trenes que se van a comprar cada año y el tamaño de la flota. Para hacerlo se obtiene primero la demanda diaria (en cada sentido) de toda la red (suponiendo 365 días de operación) y, a continuación, el número de servicios diarios necesarios (*SD*), que proviene de

$$SD = \frac{demanda\ diaria}{Asientos \times factor\ de\ \text{carga}}$$

donde el factor de carga (objetivo), definido como la proporción de asientos por kilómetro y pasajeros por kilómetro, se fija en una media del 70 %. Si se considera un máximo de 16 horas de operación al día, la cantidad mínima de trenes necesaria para satisfacer la demanda resulta de:

$$Trenes = \frac{2 \times (t_{HSR} + t_{ST})}{16} \cdot SD$$

donde t_{HSR} representa el tiempo total de viaje en el tramo del HSR (es decir, únicamente en el tramo *ABC* hasta 2027 y la media de los tramos de la red *ABC* y *ABD* a partir de 2028) y t_{ST} es el intervalo de tiempo entre trenes (por ejemplo, 0,5 horas). El número de trenes que se obtiene mediante la fórmula anterior define el nivel de servicio básico. Tanto los factores de contingencia (para evitar interrupciones por averías o mantenimiento periódico) como la existencia de limitaciones técnicas (por ejemplo, un número máximo de kilómetros por tren y año) implican que el número final de trenes pueda ser mayor. Se supone además que cada tren se compra y pone en servicio durante el primer año que se necesitan y se sustituyen cuando alcanzan su máxima vida útil económica de 30 años. Una vez que se conoce la cantidad de trenes necesarios, los costes de adquisición y de operación y mantenimiento se calculan directamente a partir de los valores de referencia de la **Tabla 5.1**, aunque se deben corregir en cuanto a precios sombra.

Alternativamente, cuando los beneficios y los costes sociales se calculan con la aproximación basada en el cambio de los excedentes de los agentes sociales, las variaciones en el excedente de los usuarios para cada tramo y año de la red se deben obtener mediante las expresiones **(5.3)** y **(5.4)** para la demanda existente y la desviada, respectivamente, utilizando precios con impuestos incluidos. Si bien estos ingresos tributarios se atribuyen luego a los excedentes de los contribuyentes y se cancelan cuando se suman todos los beneficios y costes, la separación en diferentes grupos permite identificar las supuestas ganancias y pérdidas de cada grupo. En cuanto a los excedentes de los productores, se ha supuesto que son nulos en todos los modos de transporte alternativos (debido a la existencia de competencia o precios iguales al coste marginal). En el caso del ferrocarril, sin embargo, es necesario calcular la diferencia entre los nuevos ingresos del operador del HSR (procedentes de la demanda desviada y generada) y los costes de adquisición, operación y mantenimiento del material rodante y los cánones de acceso (que representan un coste para la empresa explotadora). Para el administrador de la infraestructura, su excedente es precisamente el resultado de estos ingresos (los cánones de acceso) menos los costes de inversión y explotación de la infraestructura. En ambas aproximaciones se han calculado también los ahorros de costes externos teniendo en cuenta únicamente los que tienen que ver con accidentes y la congestión, tal y como se describe a continuación.

5.2.3. Evaluación financiera

Supongamos que se realiza en primer lugar una evaluación financiera de este proyecto de HSR desde el punto de vista del operador de la infraestructura ferroviaria y de los operadores de servicios. En ese caso, el VAN_F, que se expresa en euros de 2019, se define como:

$$VAN_F = \sum_{h=2020}^{2069} \frac{\Delta PS_h^{INFRAESTRUCTURA} + \Delta PS_h^{SERVICIOS}}{(1+r_f)^{h-2019}}, \quad \textbf{(5.5)}$$

donde r_f es la tasa de descuento financiero, en este caso el 4 %, siguiendo las recomendaciones de la Comisión Europea (2015). De acuerdo con los supuestos y parámetros ya definidos, lo que nos interesa es el valor de la demanda inicial x^1, tal que $VAN_F(x^1) = 0$.[23] Este valor se puede obtener de manera sencilla mediante una hoja de cálculo que permita modelizar los componentes de la expresión **(5.5)** para el horizonte de evaluación del proyecto. En este ejemplo, la demanda mínima necesaria es de aproximadamente 54,4 millones de pasajeros en el primer año. En este caso, tal y como se muestra en la **Tabla 5.6**, el excedente del productor de la empresa explotadora de la línea HSR sería negativo, pero el excedente del administrador de la infraestructura (neto de costes de inversión) sería positivo y lo compensaría.

Tabla 5.6. Evaluación financiera: un primer resultado

	Valores reales en euros de 2019
Δ Excedente del productor (empresa explotadora de la línea HSR)	-34.440.947.505 €
Δ Excedente del productor (administrador de la infraestructura)	42.750.057.045 €
Δ Excedente del productor (administrador de la infraestructura)*	-8.309.109.779 €
DEMANDA MÍNIMA PARA VAN_F= 0	**54.469.202 pasajeros**

* Sólo costes de inversión.

Es necesario tener en cuenta que, dado que únicamente se incluyen los excedentes de los operadores ferroviarios, este resultado puede interpretarse como el resultado financiero desde el punto de vista de los inversores privados o, incluso, desde el punto de vista del sector público cuando ambos productores son empresas públicas (aunque desagregadas verticalmente). Sin embargo, en este último caso, también podría ser útil que el gobierno evaluase el proyecto teniendo en cuenta los excedentes de los contribuyentes, a fin de valorar el impacto total del proyecto sobre las finanzas públicas. En este caso, la expresión que se debe evaluar se convierte en

$$VAN_F = \sum_{h=2020}^{2069} \frac{\Delta PS_h^{INFRAESTRUCTURA} + \Delta PS_h^{SERVICIOS} + \Delta GS_h}{(1+r_f)^{h-2019}}, \quad \textbf{(5.6)}$$

y la demanda mínima resultante para el primero es mucho mayor, por encima de los 137,3 millones de pasajeros Esto se debe a que el excedente de los contribuyentes está disminuyendo con el número de viajes.

[23] Se ha estimado la demanda total de la red en el año inicial (es decir, 2025 para el tramo *ABC* y 2028 para el tramo *ABD*) y se ha distribuido entre los distintos modos respetando la distribución modal exógena inicial.

5.2.4. Evaluación económica

Finalmente se lleva a cabo el cálculo del *VANS*, que se define como:

$$VAN_S = \sum_{h=2020}^{2069} \frac{\Delta W_h}{(1+r)^{h-2019}}, \qquad \textbf{(5.7)}$$

con una tasa de descuento social del 3 %, según la Comisión Europea (2015). Tal y como se ha comentado anteriormente, las variaciones en el bienestar social se pueden estimar a través de los cambios en los recursos y en la disposición a pagar o a través de las variaciones en los excedentes de los agentes sociales pertinentes. Ambas aproximaciones darán el mismo resultado.

Tabla 5.7. Evaluación económica: aproximación basada en el cambio en los recursos y la disposición a pagar

	Valores reales en euros de 2019
Ahorro de tiempo (usuarios existentes de tren convencional)	3.131.206.209 €
Ahorro de tiempo (desviado desde el transporte aéreo)	-1.484.147.794 €
Ahorro de tiempo (desviado desde el transporte en autobús)	425.945.864 €
Ahorro de tiempo (desviado desde el transporte en coche)	-501.613.889 €
Ahorro de costes (usuarios existentes de tren convencional)	1.854.227.942 €
Ahorro de costes (desviado desde el transporte aéreo)	6.834.240.236 €
Ahorro de costes (desviado desde el transporte en autobús)	657.099.380 €
Ahorro de costes (desviado desde el transporte en coche)	2.119.777.856 €
Disposición a pagar (demanda generada)	1.028.366.340 €
Costes de inversión	-7.256.275.030 €
Costes de mantenimiento de la infraestructura	-1.455.372.473 €
Costes de adquisición de material rodante	-721.694.057 €
Costes de operación y mantenimiento de material rodante	-6.456.384.354 €
Ahorro de costes externos	1.824.622.560 €
DEMANDA MÍNIMA PARA *VANS* = 0	**6.001.182 pasajeros**

Tabla 5.8. Evaluación económica: aproximación basada en cambio en los excedentes

	Valores reales en euros de 2019
Δ Excedente de los usuarios (tren convencional)	2.444.455.119 €
Δ Excedente de los usuarios (transporte aéreo)	3.072.012.364 €
Δ Excedente de los usuarios (autobús)	237.492.710 €
Δ Excedente de los usuarios (coche)	663.206.368 €
Δ Excedente de los usuarios (tráfico generado)	321.129.124 €
Δ Excedente del productor (empresa explotadora de la HSR)	-5.088.632.356 €
Δ Excedente del productor (administrador de la infraestructura)	4.563.104.227 €
Δ Excedente del productor (administrador de la infraestructura)*	-8.638.422.655 €
Δ Excedente del productor (tren convencional)	0 €
Δ Excedente del productor (avión)	0 €
Δ Excedente del productor (autobús)	0 €
Δ Excedente del productor (coche)	0 €
Δ Excedente de los contribuyentes	601.031.329 €
Δ Excedente del resto de la sociedad	1.824.622.560 €
DEMANDA MÍNIMA PARA $VAN_S = 0$	**6.001.182 pasajeros**

* Sólo incluye costes de inversión

En ambos casos, la demanda mínima para el primer año de funcionamiento que hace que la expresión **(5.7)** sea igual a cero es de 6.001.182 pasajeros, es decir, en torno al 11 % de la demanda mínima que se obtuvo como necesaria en la **Tabla 5.6**. Como se resume en las **Tablas 5.7** y **5.8**, con esta estimación de demanda, los mayores beneficios de este proyecto se derivan de los ahorros de costes asociados al tráfico desviado (especialmente en el caso del transporte aéreo y de los usuarios de automóviles), mientras que los costes más elevados (aparte de la inversión) corresponden a la operación y mantenimiento del material rodante. Desde el punto de vista de los excedentes, los usuarios desviados desde el transporte aéreo son los que más se benefician del proyecto, así como el administrador de la infraestructura sin tener en cuenta los costes de inversión. El ahorro de costes externos, que corresponde a la variación del excedente del resto de la sociedad, es positivo y se ha calculado utilizando valores de referencia por pasajero-kilómetro que se obtienen de la documentación de la Comisión Europea (2019).

6. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS DE CERCANÍAS

Aunque el transporte ferroviario de cercanías se ha convertido en un elemento fundamental para atender las necesidades de movilidad de los residentes y visitantes de las grandes áreas metropolitanas, no existen normas particulares o criterios diferenciados para el ACB de este tipo de proyectos de transporte.

En la mayoría de los países europeos el transporte suburbano de cercanías se presta todavía en régimen de monopolio público con precios subvencionados, aunque hay servicios (por ejemplo, líneas que conectan los aeropuertos con los centros de las ciudades) en manos de operadores privados.[24] La principal diferencia de estos proyectos con respecto, por ejemplo, a los de alta velocidad, se asocia el hecho de que la demanda de transporte en áreas metropolitanas se satisface mediante una red de diferentes modos (ferrocarril convencional, metro, tranvía y autobuses) en coordinación y competencia no solo entre ellos, sino también con el transporte privado, los taxis y otras plataformas de movilidad emergentes (servicios de transporte compartido, vehículos de alquiler, etc.). La existencia de estos «efectos de red» implica que los proyectos de ferrocarril de cercanías se deben evaluar en mayor relación con los mercados asociados, teniendo en cuenta explícitamente las variaciones que el proyecto introduce en los patrones de viaje y en las decisiones modales de los usuarios, así como otras repercusiones indirectas en el conjunto del área metropolitana.

6.1. Ahorro de tiempo, accesibilidad y efectos de la congestión en los proyectos ferroviarios de cercanías

Al igual que en otros proyectos de transporte, una de las principales ventajas asociadas a la mejora de las infraestructura y servicios ferroviarios de cercanías es el ahorro del tiempo de viaje. Esta mejora social aparece, en primer lugar, en relación con los usuarios actuales del ferrocarril, que pueden beneficiarse de la reducción del tiempo de viaje a bordo de los vehículos (tal y como se analizó en la **Sección 5.1**) cuando se introducen servicios más rápidos. Sin embargo, una segunda mejora en los servicios ferroviarios regulares dentro de una red es la reducción del tiempo medio de espera en las estaciones cuando la frecuencia de los servicios (por ejemplo, el número de trenes por hora) aumenta a medida que lo hace el número de usuarios. Este «efecto Mohring» es una externalidad positiva, cuyo valor económico debería cuantificarse en la

[24] En España, la operación de los servicios suburbanos (Cercanías) se realiza por el operador público nacional (Renfe) y por otros operadores otros operadores públicos regionales. La administración de las infraestructuras corresponde a ADIFF.

evaluación del proyecto. Finalmente, una tercera fuente de ahorro de tiempo total para los usuarios actuales también puede estar asociada a la construcción de nuevas estaciones o a la mejora de sus condiciones de accesibilidad (por ejemplo, la ampliación de las instalaciones de aparcamiento). En este caso, es el tiempo de acceso y de egreso de los usuarios actuales lo que se reduce sensiblemente.

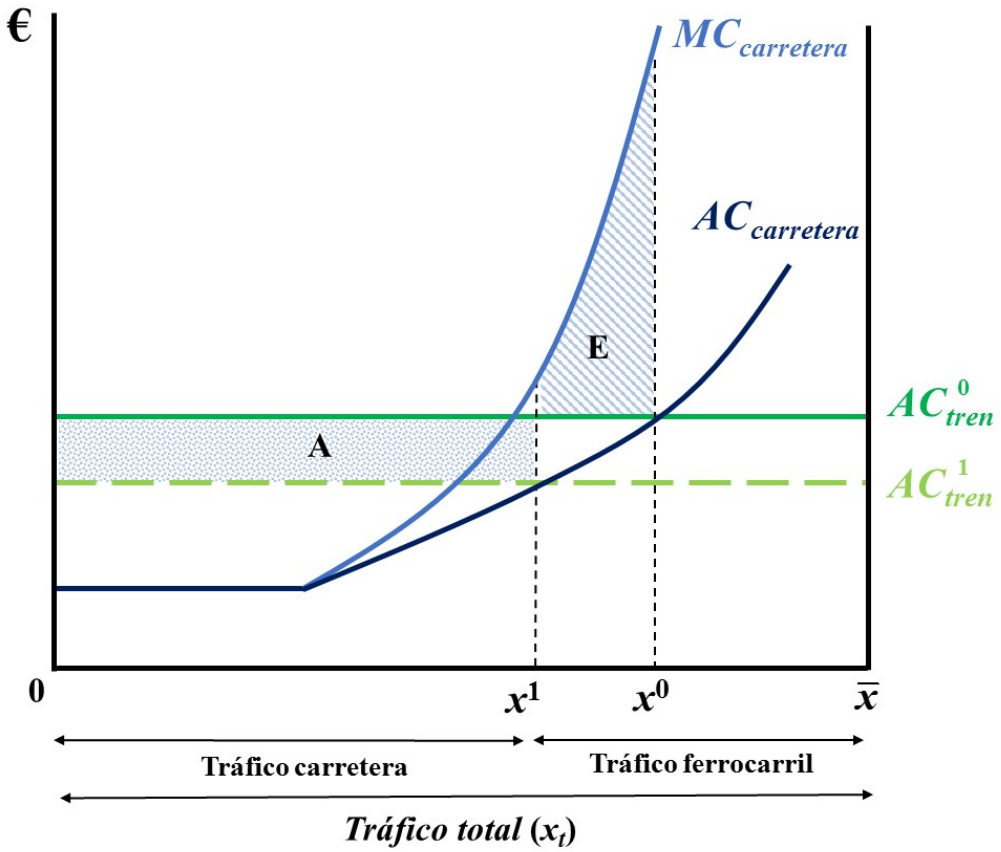
Cuando se analizan los beneficios de accesibilidad en los proyectos de cercanías, es importante no cometer errores de doble contabilización o calcular mal otros beneficios indirectos. La accesibilidad se refiere a la capacidad de alcanzar o acceder a uno o varios modos de transporte, y las variaciones en la misma pueden dar como resultado uno de los impactos directos clave de estos proyectos. Sin embargo, y dependiendo del enfoque específico del análisis, la mayoría de los beneficios económicos asociados a las mejoras de accesibilidad se recogen en la reducción del tiempo de viaje (debido a la disminución de los tiempos de espera o acceso, al acortamiento de las rutas o la de los trasbordos intermedios). En ocasiones pueden utilizarse indicadores de accesibilidad más amplios que reflejen el número de opciones de viaje disponibles o la cantidad total de combinaciones posibles entre orígenes y destinos, pero a menudo estos reflejan repercusiones similares sobre el tiempo de viaje. En cualquier caso, la evaluación de las variaciones en la accesibilidad que se derivan de un proyecto ferroviario no debería centrarse únicamente en el ahorro total de tiempo de viaje, sino también en si los cambios están equilibrados o no en diferentes zonas. Por ejemplo, la mayoría de los estudios sugieren que la accesibilidad interurbana mejora (debido al ahorro de tiempo de viaje) después de la construcción de nuevas estaciones de cercanías o de la ampliación y mejora de las líneas existentes, pero en algunos otros casos los impactos se limitan únicamente a las áreas más grandes y más saturadas.

En cuanto a los usuarios del ferrocarril de cercanías que se desvían de modos de transporte alternativos (particularmente aquellos desviados del transporte por carretera), el valor de su ahorro de tiempo (y de hecho, los cambios en sus precios generalizados) se calcula tal como se explicó en la **Figura 5.2**, sin que existan nuevos elementos adicionales a considerar. Sin embargo, muchos proyectos de transporte ferroviario en áreas metropolitanas son particularmente relevantes por sus efectos sobre la congestión en las carreteras, cuya reducción suele constituir de hecho uno de los objetivos más frecuentes de estas inversiones ferroviarias. La congestión aparece en la red de carreteras de las zonas urbanas y suburbanas a medida que aumenta el número de usuarios de la infraestructura viaria y esto hace que los vehículos se retrasen progresivamente en sus desplazamientos. La disminución de la velocidad media aumenta el tiempo de desplazamiento de los usuarios y su precio generalizado, reduciendo el bienestar social.

El coste derivado de la congestión se puede reducir si los usuarios de la carretera se desvían hacia modos alternativos de transporte. Esta reducción de costes puede ser temporal o durar pocos años si la demanda de la carretera sigue creciendo o si se generan nuevos usuarios cuando las condiciones de conducción mejoran. Así, los beneficios para los usuarios de la carretera que se derivan de un proyecto ferroviario se pueden estimar de la misma forma que el resto de los efectos indirectos en los mercados secundarios. Cuando el precio es igual al coste marginal (la situación sin congestión) no hay ningún beneficio adicional más allá de las ventajas directas que se miden en el mercado primario. Sin embargo, cuando hay atascos y el coste marginal social está por encima del coste marginal privado, la reducción de la externalidad asociada a la congestión es un beneficio adicional del proyecto ferroviario.

La medición de estos beneficios indirectos se ilustra en la **Figura 6.1**, en la que, para un corredor de transporte determinado, el eje horizontal representa la distribución del número total de usuarios cada año (x_t) en dos modos de transporte alternativos. El tráfico en carretera se mide de izquierda a derecha (x^0 es la cantidad de usuarios de coches que existirían «sin proyecto»), mientras que, de derecha a izquierda, $\overline{x} - x^0$ es el número inicial de usuarios de ferrocarril. Cuando el flujo de tráfico es inferior a la capacidad de la carretera, la velocidad de los vehículos no se ve afectada por su interacción mutua y el coste medio de un usuario de la carretera ($AC_{carretera}$) es constante. Sin embargo, una vez que se alcanza ese límite de capacidad, aparece la congestión y cada usuario adicional impone un tiempo adicional a todos los demás usuarios de la carretera; como consecuencia, el coste marginal está por encima del coste medio y ambos están aumentando ($MC_{carretera} > AC_{carretera}$). Por otro lado, no hay congestión para los usuarios del ferrocarril, cuyo coste medio («sin proyecto», AC^0_{tren}) permanece constante e igual al coste marginal del ferrocarril. El equilibrio modal se alcanza inicialmente en x^0, donde los costes unitarios de los usuarios son iguales para ambos modos.

Figura 6.1. Medición de los cambios en el coste de la congestión de la carretera



Cuando se implementa un proyecto de ferrocarril de cercanías, por ejemplo, un nuevo enlace que reduce el tiempo de viaje (y los costes unitarios de todos los usuarios del ferrocarril de AC^0_{tren} a AC^1_{tren}), el nuevo equilibrio modal se define por x^1, donde $x^1 - x^0$ representa a los usuarios de la carretera desviados al tren. Veamos cuáles son los beneficios que se derivan del proyecto ferroviario.

El efecto indirecto de la reducción de la congestión en la carretera para los restantes usuarios de este modo es el ahorro de tiempo en relación con la situación inicial (**área A** en la figura).[25] Estos beneficios equivalen a la reducción de la externalidad representada por el **área E**.

[25] Es necesario tener en cuenta que los costes de congestión se calculan en la **Figura 6.1** comparando dos equilibrios, ninguno de los cuales se refiere a una situación óptima. Además, se supone para fines ilustrativos una aproximación de matriz fija donde el número total de usuarios (x_t) no varía con la reducción de los costes generalizados. De otra manera, la regla de la mitad se aplicaría a los nuevos usuarios de la carretera.

6.2. *Wider economic benefits* y proyectos ferroviarios de cercanías[26]

El ACB tradicional de las mejoras en el transporte, basado en la medición de los beneficios para el usuario en el mercado primario, es suficiente siempre que supongamos que existe competencia perfecta en el resto de la economía, pero no es adecuado cuando los precios no son iguales a los costes marginales en los mercados secundarios.

La inclusión de los efectos indirectos en los mercados secundarios vinculados al mercado primario por relaciones de complementariedad o sustituibilidad se debe tener en cuenta en la evaluación, siempre que haya distorsiones en los mercados secundarios y las elasticidades cruzadas no sean nulas. El efecto final sobre el valor actual neto de los proyectos podría ser positivo o negativo y, en la práctica, la mayoría de los ACB nacionales e internacionales pasan por alto los efectos indirectos o recomiendan concentrarse en aquellos mercados secundarios con mayor conexión con el mercado primario, siempre que el precio sea significativamente diferente del coste marginal.

En el caso de los proyectos de transporte ferroviario de cercanías existen otros efectos, que no necesariamente están ausentes en los servicios interurbanos, relacionados con el cambio de proximidad. Se trata de los llamados *wider economic benefits* (WEB, por sus siglas en inglés) que podrían ser significativos en determinados contextos. Existen dos tipos de WEB, ambos relacionados con el contexto espacial de los proyectos de transporte. El primero está relacionado con el valor de la proximidad (WEB I) y, el segundo, con el valor de la inversión privada inducida y el cambio de uso del suelo (WEB II).

La evaluación de los WEB en el caso de los proyectos de transporte ferroviario apareció por primera vez en la investigación de Anthony Venables y Dan Graham en el marco de la evaluación económica del proyecto *Crossrail*.[27] En un reciente taller de ACB sobre la evaluación de grandes proyectos de transporte transfronterizo que organizó la Agencia

[26] Esta sección se basa en Graham (2007), de Rus (2010) y en la presentación de A. Venables, *ACB Workshop on the Assessment of Large-Cross Border Transport Projects*, impartido en la Agencia Ejecutiva de Innovación y Redes (INEA) de la Comisión Europea en Bruselas el 28 de junio de 2019 (véase ec.europa.eu/inea/). Para obtener una explicación más detallada de los WEB y su medición, véase la parte **PARTE I** (Sección 7) de este informe.

[27] *Crossrail* es un gran programa de inversión cuyo objetivo es reconfigurar la red ferroviaria suburbana de Londres que opera servicios directos entre Reading y el aeropuerto de Heathrow en los extremos occidentales de la red hasta Shenfield en Essex y Abbey Wood en el sudeste de Londres en los extremos orientales.

Ejecutiva de Innovación y Redes (INEA) de la Comisión Europea, el profesor Venables presentó las principales ideas sobre la justificación de los WEB:[28]

Existe la percepción de que para algunos proyectos específicos (*Crossrail* fue uno de los casos más destacados) hay una gran brecha entre el planteamiento estratégico del proyecto y los resultados del ACB, con una especie de intersección vacía entre ambos; por lo tanto, en estos casos es difícil reconciliar el discurso político o estratégico de un proyecto y los resultados en cifras del ACB.

El ACB existe desde hace años, especialmente en el ámbito del transporte, y se basa en una metodología bien establecida, que se fundamenta en gran medida en el concepto de equilibrio económico, general o parcial. Sin embargo, el transporte está relacionado con la distribución espacial de la actividad económica y con el uso del suelo, y se sabe que los equilibrios espaciales no son eficientes, algo que posiblemente no se refleje de forma plena en el ACB tradicional y que abre la puerta al uso de pruebas empíricas y resultados de otras investigaciones en el campo de la economía y la geografía espacial.

Según el enfoque adoptado en el Reino Unido, además de los «beneficios para el usuario» (en tiempo y coste directos de los viajes que se realizan o se crean en el mercado primario), que tradicionalmente se incluyen en los ACB, se tienen en cuenta dos tipos de WEB en los mercados secundarios, que se relacionan con el contexto espacial del proyecto: el «valor de la proximidad» (WEB I) y el «valor de la inversión privada inducida y el cambio de uso del suelo» (WEB II).

Estos dos tipos de impacto están estrechamente relacionados con lo que se puede denominar el «contexto espacial»:

- La actividad económica es irregular en cuanto al espacio: la economía real se caracteriza por una gran desigualdad espacial, como las disparidades entre las zonas industriales con gran densidad de población y las regiones agrícolas poco pobladas, entre las ciudades con grandes aglomeraciones y las zonas rurales periféricas; esto no puede ser el resultado de diferencias inherentes entre lugares, sino más bien de algún tipo de proceso acumulativo que necesariamente implica algún tipo de rendimientos crecientes, por lo que la concentración geográfica se puede retroalimentar. En este sentido, es lo contrario al llamado *backyard capitalism*, en el que cada hogar o grupo pequeño se dedica a producir la mayoría de los artículos para sí mismos.

[28] Este es el resumen de INEA de la presentación de Anthony Venables en el Taller ACB sobre la evaluación de los grandes proyectos de transporte transfronterizo, con una explicación más detallada sobre las economías de aglomeración.

- La proximidad aumenta la productividad, que se sustenta en mecanismos clásicos como la escala y la especialización; la especialización conduce a la productividad y es más sencillo que aparezca en las grandes aglomeraciones. Hay una prueba definitiva que apoya esta relación, que realmente parece ir más allá de la simple correlación y apunta, más bien, a la causalidad. La elasticidad de la productividad con respecto a las medidas de la «masa económica» (PIB, población, empleo) está en el intervalo de 0,03 a 0,1, lo que significa que la productividad de una ciudad de 5 millones de habitantes es un 25 % más alta que la asociada a una ciudad de 200.000 habitantes.

- Fallos de mercado: el equilibrio espacial no es eficiente. En este punto es necesario mencionar dos cuestiones: las «externalidades tecnológicas», como la difusión de conocimientos, y las «externalidades pecuniarias», como es el caso de los inversores que no pueden acaparar todos los beneficios de la inversión porque van a parar a otra persona.

- Fallos de coordinación. Una vez más, hay dos cuestiones que merece la pena mencionar: El «problema de ser el primero», nadie quiere invertir en un lugar en el que no hay casos previos de inversión, y la «sumisión al equilibrio de bajo nivel», los bajos niveles de ingresos no permiten las inversiones, lo que a su vez resulta en un bajo crecimiento económico.

Teniendo en cuenta los mecanismos anteriores relacionados con el contexto espacial, los dos tipos de WEB que se pueden generar gracias a los proyectos de transporte se pueden describir de la siguiente forma:

WEB I (proximidad y productividad): El mecanismo clave es que la mejora del transporte aumenta el acceso a la masa económica y este incrementa la productividad. En el aumento de la productividad están implicados todos los habitantes del lugar afectado y no solo los viajeros. La evaluación de los WEB I se basa en pruebas empíricas sólidas y en una metodología relativamente estándar (no muy específicos de un contexto), por lo que es fácil de implementar, pero sigue siendo necesaria la imposición de una metodología disciplinada: por ejemplo, se aplica únicamente dentro de un rango espacial limitado (relacionado con el mercado laboral y el intervalo de desplazamiento) y los efectos son diferentes dependiendo de los sectores económicos (las finanzas y las actividades con alta tecnología son más sensibles a la proximidad).

Las economías de aglomeración son, de hecho, una externalidad positiva que las empresas generan cuando se ubican cerca de otras empresas. Si la productividad aumenta con la densidad de empresas en una zona, esta dependerá de la decisión de ubicación de cada empresa. Una empresa, al decidir dónde emplazar sus instalaciones,

tiene en cuenta sus propios beneficios, pero no el incremento de los beneficios de otras empresas.

Las empresas valoran los beneficios derivados del ahorro de tiempo que implica un proyecto de transporte, cambian su ubicación y aumentan la densidad de empresas en una ciudad o un parque empresarial (que se mide en función de la demanda derivada), pero estos beneficios siguen siendo inferiores al incremento en la productividad que disfrutan todas las empresas. Siguiendo este mismo razonamiento, la reducción de la densidad de empresas en el área donde estas se ubicaron inicialmente reduce la productividad y, por lo tanto, es un efecto negativo que se debe contabilizar.

Son varias las razones que explican por qué las empresas de las zonas con mayor densidad empresarial son más productivas y por qué las hay que eligen estas ubicaciones a pesar del mayor coste de la mano de obra y del suelo, entre otros inconvenientes. Entre estas razones se encuentran el acceso a mercados más amplios, la disponibilidad de un mercado laboral más especializado que se ajusta mejor a las necesidades de las empresas y el acceso a las tecnologías y los procesos de producción de otras empresas de la zona.

Un proyecto que reduce los costes de transporte también puede inducir un aumento de la concentración de empleo en una zona donde hay economías de aglomeración al reducir el coste de los desplazamientos de los trabajadores que, con el proyecto, están ahora más dispuestos a trasladarse a la ciudad o al parque empresarial. Sin embargo, lo contrario también podría ocurrir si la reducción de los costes de transporte fomenta la dispersión de la actividad económica. Para un proyecto urbano que reduce el coste de los viajes dentro de la ciudad es más probable que predomine el efecto positivo, mientras que, en el caso de un proyecto de transporte interurbano, no se puede descartar la posibilidad de que la dispersión aumente en función de un conjunto de factores locales como los precios del suelo, las diferencias salariales entre zonas, etc. (véase Duranton y Puga, 2004; Graham, 2007; Venables, 2007).

Los beneficios en la productividad que surgen de las economías de aglomeración se deben a que la productividad no es constante con respecto al tamaño de la ciudad, y esto significa que el aumento de la densidad de mano de obra en la ciudad, gracias a la mejora del transporte, aumenta su productividad media. El nuevo equilibrio con un mayor número de trabajadores que se desplazan a la ciudad para trabajar, una vez que se ha mejorado el transporte, es una consecuencia de los WEB para los trabajadores. Vale la pena mencionar que estas ganancias son netas de impuestos y, por tanto, los ingresos fiscales son también beneficios de productividad y se tienen que incluir en la evaluación económica del proyecto.

WEB II (inversión privada inducida y cambio de uso del suelo): La segunda categoría de WEB se refiere a las variaciones en el bienestar derivadas de los cambios de uso del suelo. La evaluación de esta segunda categoría de beneficios es más compleja que la de la anterior. Es imprescindible hacer referencia a los dos pasos básicos necesarios para la evaluación de cualquier beneficio en un ACB: ¿Qué variaciones cuantitativas se producen? ¿Cuál es su valor social?

- Valoración. Para poder asignar un valor social es necesario conocer las repercusiones subyacentes de las variaciones inducidas por el aumento de la accesibilidad: a) mayor impacto de la proximidad y la productividad (si el transporte permite la agrupación de actividades económicas); b) interacción con otras distorsiones en el mercado laboral (por ejemplo, permitir el desplazamiento a trabajos más productivos, en cuyo caso el beneficio no es la totalidad del salario adicional); c) interacción con distorsiones que hayan surgido de variaciones no marginales (si una inversión privada inducida cambia los precios o los salarios que repercuten en los propios inversores).

- Cantidad. Existe una dificultad inherente para establecer las variaciones cuantitativas. Depende en gran medida del contexto (fácil para *Crossrail*, muy complejo en el caso de HS2), ya que hay cuestiones en los elementos de prueba econométricos que podrían requerir el uso de herramientas específicas de elaboración de modelos integrados de uso del suelo y transporte (modelos LUTI, por sus siglas en inglés), o modelos de equilibrio computacional espacial (modelos SCGE, por sus siglas en inglés). La evaluación de los WEB II también debe evitar las cuestiones relacionadas con el desplazamiento: si no se produce una variación en la oferta de mano de obra a nivel nacional, el aumento del empleo en una empresa, localidad o región se producirá a expensas de otras y el efecto neto podría surgir únicamente por al aumento de la productividad.

Una de las principales conclusiones que se puede extraer de la experiencia en el Reino Unido es que el enfoque centrado en los WEB constituye un buen intento de captar aspectos importantes de la realidad a partir de una perspectiva rigurosa. Sin embargo, la experiencia también muestra que esta aproximación se ha utilizado, en ocasiones, de forma demasiado mecánica, sin justificarlo de forma convincente: para ser pertinente, el enfoque debe estar respaldado por un discurso coherente.

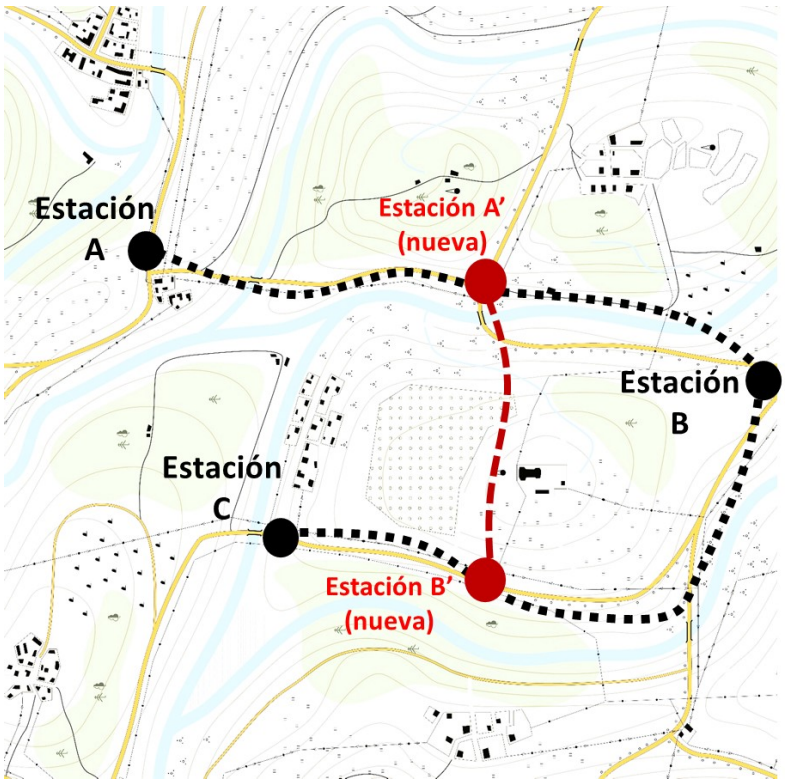
A continuación, se exponen varios argumentos generales que justifican incorporar la evaluación de los WEB en el marco de una política basada en un territorio o lugar:

- Discurso: Debe haber un discurso claro sobre los principales problemas que pretende abordar la política y de los principales fallos de mercado que motivan el proyecto o la iniciativa.
- Transparencia: Los mecanismos que sustentan tanto las variaciones cuantitativas como su valor social deben ser claros y es necesario explicarlos de manera que permitan entender las magnitudes clave a partir de un cálculo sencillo.
- Sensibilidad: Se debe analizar la dependencia de los efectos cuantitativos y su valoración en supuestos clave sobre el entorno económico. Deberían exponerse los escenarios que describen la importancia cuantitativa de los fallos de estos supuestos.
- Políticas complementarias: Se deben considerar minuciosamente las medidas complementarias necesarias para la ejecución de un proyecto de la forma adecuada.
- Alternativas: Cualquier proyecto debe presentar argumentos sólidos que proporcionen la forma más coste-efectiva de resolver los principales problemas que se describen en el discurso.

6.3. El análisis coste-beneficio de una nueva línea de cercanías en la práctica

Finalmente, en esta sección, se ofrece una ilustración práctica de algunos de los principales temas que se han debatido con respecto al ACB de los proyectos de ferrocarril de cercanías. De nuevo se va a utilizar un ejemplo hipotético simplificado que se centra únicamente en los elementos cruciales a la hora de evaluar estos proyectos ferroviarios.

Figura 6.2. Descripción del proyecto: un nuevo enlace ferroviario (estaciones y distancias)



Distancia (en kms)	Tren	Carretera
A – B	50	60
B – C	40	60
A – C *	**90**	**120**
A – A'	30	35
A' – B	20	25
B – B'	25	35
B' – C	15	25
A' – B'	10	60
A – B'	**40**	**95**
A' – C	10	60
A – C **	**55**	**120**

* sin proyecto ** con proyecto

En particular, tal y como se muestra en la **Figura 6.2**, se considera una región metropolitana que actualmente cuenta con una red ferroviaria no saturada que incluye, entre otras, tres estaciones **A**, **B** y **C**. La única alternativa de movilidad en esta zona es el transporte por carretera (en automóviles privados) y el proyecto que se está evaluando consiste en la construcción y conexión de dos nuevas estaciones (que en la figura se representan como **A'** y **B'**), lo que reducirá el tiempo de acceso y egreso de los residentes de la zona y el aumento, de forma simultánea, de las frecuencias. Esto también disminuirá los tiempos medios de espera (debido al «efecto Mohring»), y la longitud del trayecto entre **A** y **B**, algo que, a su vez, reduce el tiempo a bordo del vehículo sin afectar a los precios monetarios. Uno de los principales objetivos de este proyecto es desviar a los usuarios de la red de carreteras para mitigar los problemas de congestión existentes. La alternativa contrafactual es un escenario de «*do-nothing*», en el que la congestión se intensificaría cuando el tráfico se incremente con el tiempo debido al progresivo crecimiento de la actividad económica.

Se llevará a cabo un ACB social ex ante de este proyecto mediante la aproximación basada en las variaciones en los recursos y la disposición a pagar y suponiendo, para simplificar los cálculos, que todos los precios reflejan sus costes de oportunidad social

(excepto en la alternativa del transporte por carretera) y que el transporte de mercancías en ningún caso se ve afectado por el proyecto. La inversión incluye, entre otros elementos, la planificación y la construcción de las nuevas estaciones y vías, edificios auxiliares y todos los sistemas de señalización y comunicaciones correspondientes, asumiendo que en total asciende a 110 millones de euros, en valores monetarios de 2019, distribuidos en dos años (2020-2021), y que los nuevos servicios comenzarán a funcionar a principios de 2022. El horizonte de evaluación será de 50 años (de 2020 a 2069) y el valor residual de la infraestructura se asume igual a cero. También se supondrá que existe un único operador ferroviario público y que únicamente los costes incrementales, tanto de la adquisición de nuevos trenes como de la explotación y mantenimiento de la nueva infraestructura y del material rodante, serán pertinentes desde el punto de vista de la evaluación socioeconómica del proyecto.

Desde el punto de vista de la demanda, en este ejemplo se considera que el evaluador ya ha efectuado un ejercicio de previsión de la demanda. Concretamente, y partiendo de los datos actuales disponibles sobre los usuarios de ferrocarril y de los recuentos actuales de tráfico en la carretera, se ha utilizado un modelo que permite estimar el número de nuevos usuarios de ferrocarril tras la finalización del proyecto (*demanda generada*) y los que se desviarán desde la carretera al ferrocarril en cada uno de los tramos de la red (*demanda desviada*). Esta distribución modal se estimará para el primer año de funcionamiento de la nueva infraestructura (2022) y se supondrá que su crecimiento se producirá a un ritmo acorde al de las previsiones del PIB. El análisis de la demanda se puede desagregar distinguiendo, para cada año, cinco grupos diferentes de tráfico: los *usuarios actuales del ferrocarril* (de los tramos **A-B**, **B-C** y **A-C** que desde el principio viajaban en tren), los *usuarios actuales de la carretera*, la *demanda (ferroviaria)* nueva o *generada*; *la demanda (ferroviaria) desviada de la carretera* y los *usuarios finales de la carretera*, que serán importantes para determinar los efectos asociados a la reducción de la congestión. Los cálculos se basarán concretamente en una estimación inicial de 2.000.000 de pasajeros de tren el año de inicio de explotación y de 150.000 vehículos diarios en toda la red de carreteras de esta región metropolitana.[29]

Con respecto al tiempo de viaje, se ha supuesto una velocidad comercial media de 120 km/h en el caso de los ferrocarriles. Los correspondientes tiempos a bordo del vehículo (incluido el tiempo en las paradas intermedias) de todas las rutas de cercanías

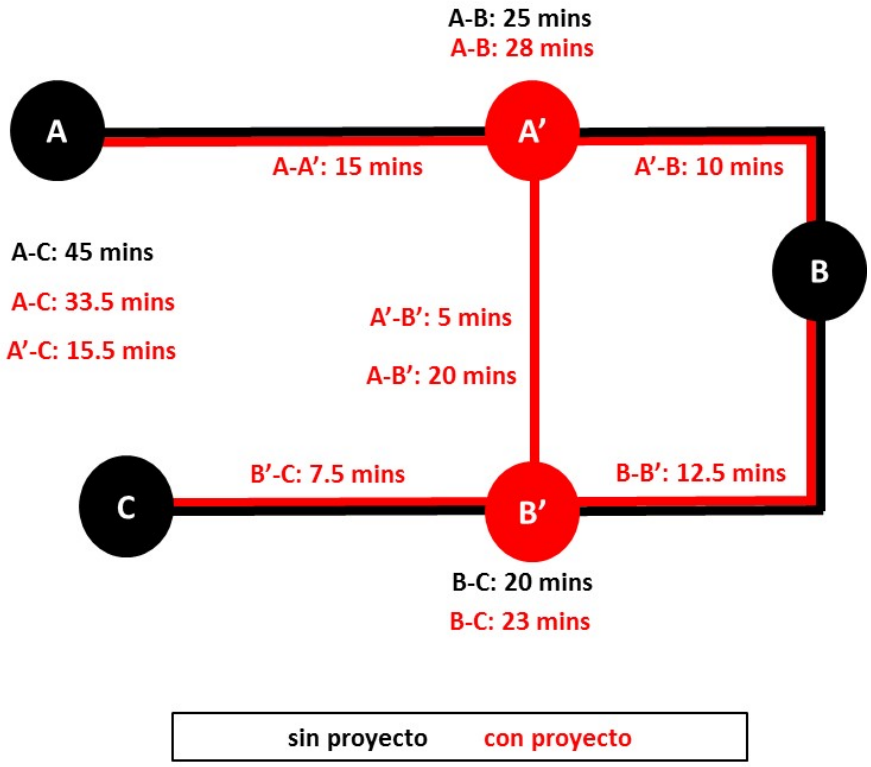
[29] Se considera exógenamente que el 10 % de los usuarios iniciales del ferrocarril viajan de las estaciones **A** a **C**, el 60 % entre **A** y **B** y, el 30 % restante, entre **B** y **C**. La distribución del tráfico por carretera también es exógena, aunque, en un caso real, la demanda de cada tramo se debería estimar de forma más específica. La demanda generada se calcula como un 3 % del tráfico existente, mientras que a la demanda desviada se le aplica un coeficiente del 10 %. Estos valores numéricos se discutirán más adelante en el análisis de riesgo.

se resumen en la **Figura 6.3**. Será necesario tener en cuenta que, cuando corresponda, al tiempo a bordo del vehículo se deberá añadir el tiempo empleado en las paradas intermedias (3 minutos) y que, en promedio, el tiempo de acceso y egreso de las estaciones ya existentes es de 0,3 horas (18 minutos), que se reduce a 0,2 horas en el caso de las nuevas estaciones (**A'**, **B'**), debido a que son más accesibles. En el caso de un usuario medio de ferrocarril, el tiempo de espera en la estación antes de subir al tren es de 0,10 horas (6 minutos) en la hipótesis «sin proyecto» y se reduce en un 50 % después de 2022. Esto se debe al «efecto Mohring», ya que el aumento previsto de la demanda hará que el proveedor de servicios ferroviarios incremente la frecuencia, reduciendo así el tiempo medio de espera.[30]

El cálculo del tiempo de viaje para los usuarios de la carretera no es tan sencillo, ya que requiere modelizar explícitamente los efectos de la congestión. Como ya se ha mencionado anteriormente, la congestión aparece cuando el número de usuarios aumenta progresivamente y supera la capacidad de la infraestructura. Los factores que determinan este límite dependen del diseño básico de la carretera, sus características físicas y la composición del tráfico. En este ejemplo simplificaremos la definición práctica de congestión de la siguiente manera: no habrá congestión si la demanda total diaria de la red de carreteras es inferior a 135.000 vehículos al día; habrá cierta congestión si la demanda se encuentra entre 135.000 y 150.000 vehículos al día, y habrá una alta congestión por encima de ese umbral. La velocidad media correspondiente para cada uno de estos casos será de 80 km/h, 70 km/h y 60 km/h, respectivamente. En la **Figura 6.4** se resume la evolución y distribución de las estimaciones de la demanda ferroviaria y de carreteras entre 2022 y 2069.

[30] Se supone que para los tramos **A-B** y **B-C** el tiempo total de viaje no cambia con el proyecto: el ahorro en el tiempo de espera se compensa con el aumento del tiempo a bordo, ya que se ha añadido una nueva parada en la estación intermedia. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el valor del tiempo que se aplica a estos cambios puede ser diferente.

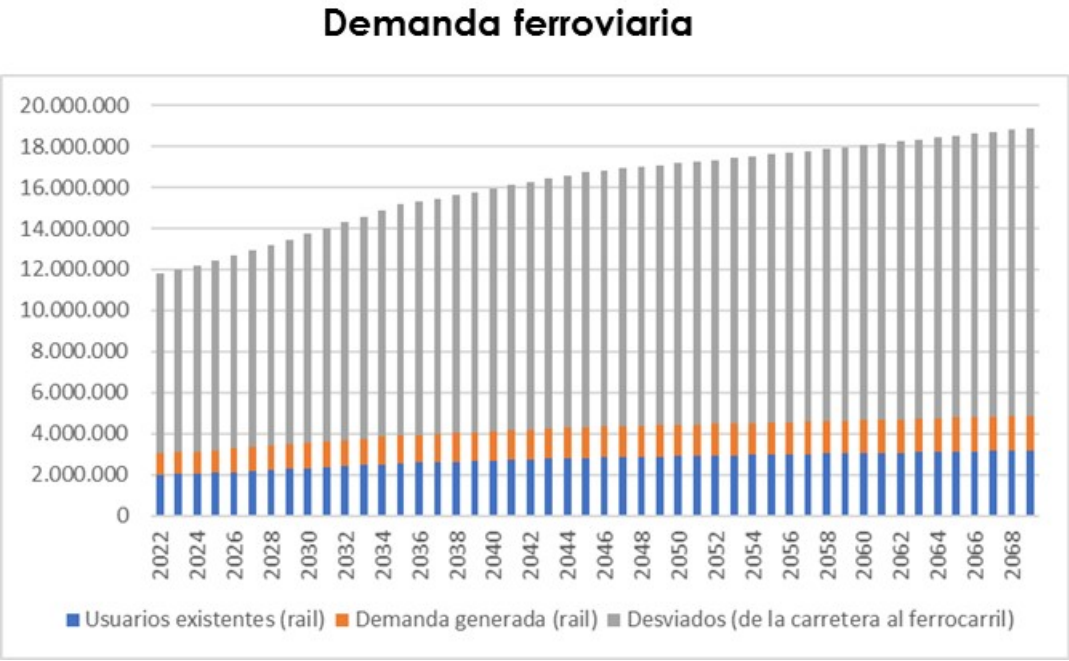
Figura 6.3. Tiempo de viaje en vehículo (incluido el tiempo en paradas intermedias) por ferrocarril para todas las rutas suburbanas

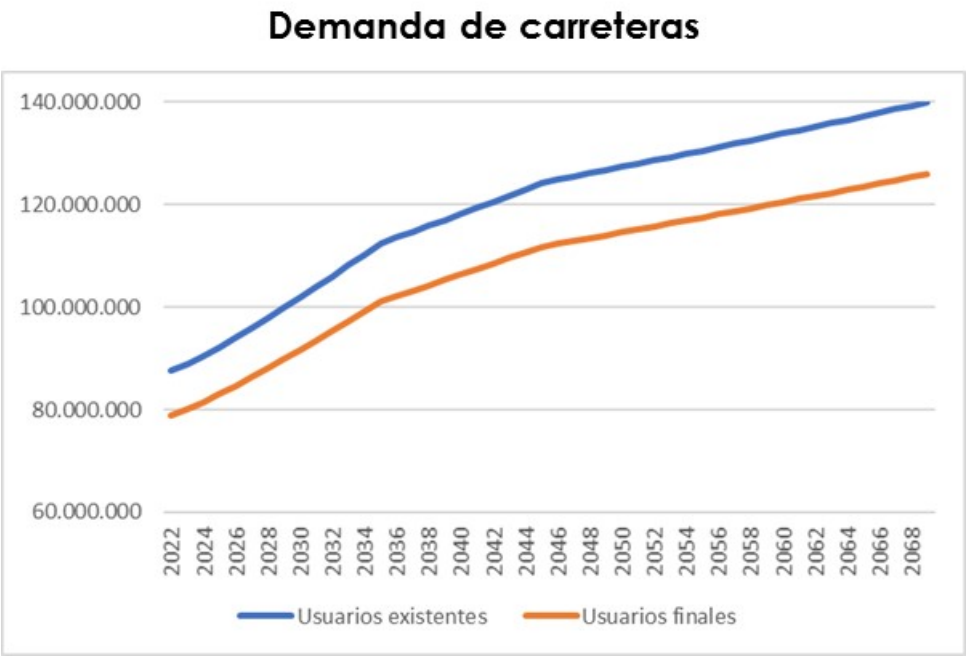


Desde el punto de vista de los costes, además de los costes de inversión que se enumeran, se han calculado los costes incrementales de operación y mantenimiento de las infraestructuras y servicios partiendo de los valores iniciales de 7,0 y 8,0 euros por tren por kilómetro respectivamente y suponiendo que el número de trenes que hay que comprar se calcula a partir de la cantidad de los servicios adicionales, que se plantean como necesarios en ambos escenarios, «con» y «sin el proyecto».[31]

[31] La cantidad (incremental) de trenes se ha calculado mediante los pasos que se describen en la **Sección 5.2**, suponiendo un coste unitario de adquisición de 10.000.000 de euros por cada tren de 360 plazas. Se ha supuesto un factor de carga medio del 80 %.

Figura 6.4. Estimaciones de demanda para el proyecto ferroviario suburbano por secciones





Teniendo en cuenta todos estos elementos, y mediante una aproximación similar al que se describe en la **Sección 5.2**, se pueden identificar de inmediato los principales beneficios y costes sociales de este proyecto de la siguiente forma:

1. En el caso de los *usuarios actuales del ferrocarril* de los tramos **A-B**, **B-C** y **A-C**, el valor del ahorro en el tiempo de viaje cada año se calcula como

$$^{access}v_R(^{access}t_R^0 - {}^{access}t_R^1)x_R^0 + {}^{wait}v_R(^{wait}t_R^0 - {}^{wait}t_R^1)x_R^0 + {}^{in}v(^{in}t_R^0 - {}^{in}t_R^1)x_R^0, \quad \textbf{(6.1)}$$

donde el primer sumando es igual a cero porque no hay variaciones en el tiempo de acceso ni egreso, el segundo sumando es positivo («efecto Mohring») y el tercero es negativo por la parada adicional.[32]

2. En el caso de los *usuarios de ferrocarril generados* de todos los tramos y años, su disposición a pagar se puede calcular tal y como se resume en la **Figura 5.1**:

$$\left[\frac{1}{2}(g_R^0 + g_R^1) - v_R t_R^1\right](x_R^1 - x_R^0), \quad \textbf{(6.2)}$$

donde g es el precio generalizado correspondiente, $(x_R^1 - x_R^0)$ representa la demanda generada y el término $v_R t_{R\,l}^1$ se puede desglosar como en la expresión **(6.1)**.

3. En el caso de los *usuarios del ferrocarril desviados de la carretera*, el ahorro en el tiempo de viaje se ha calculado en cada tramo y año mediante la misma aproximación que aparecía en la **Figura 5.2**.[33] Los beneficios de la demanda desviada provienen del ahorro de tiempo de los usuarios desviados del transporte por carretera (**áreas A' + D'**) y de los recursos que ahorra la empresa explotadora de este modo (**área E'**). Por lo tanto, para la demanda desviada del transporte por carretera, consideramos que el aumento del bienestar social (sin considerar los costes de operación de esta demanda desviada, que se tendrán en cuenta posteriormente) se calcula como:

$$\Delta W_d = \frac{1}{2}(g_m^0 + g_m^1)x_d^m - v_m t^1 x_d^m, \quad \textbf{(6.3)}$$

donde el subíndice *m* corresponde al transporte por carretera.

4. En el caso de los *usuarios que siguen viajando por carretera después del proyecto*, el valor de su ahorro de tiempo de viaje está asociado a la reducción de

[32] Todos los valores de tiempo se expresan en euros de 2019 y se han actualizado teniendo en cuenta HEATCO (2006), suponiendo valores similares a los que se utilizan en la **Sección 5.2**.

[33] En el tramo A'B' se considera que los usuarios viajaban por carretera de A' a B' a través de B antes del proyecto.

la congestión al disminuir el flujo de tráfico en la carretera, algo que se puede calcular de forma sencilla como:

$$v_m(t_m^0 - t_m^1)x_m^1 \,, \qquad \textbf{(6.4)}$$

donde el subíndice *m* corresponde al transporte por carretera, x_m^1 representa a los usuarios que siguen utilizando la carretera y v_m es el valor medio del tiempo de viaje para los usuarios de este modo de transporte.

5. Desde el punto de vista de la provisión de la nueva infraestructura y servicios, los costes incrementales asociados a este proyecto incluyen los *costes de inversión* (*I*), los *costes de adquisición* de los nuevos trenes (C_a) y las *variaciones incrementales en los costes de mantenimiento y operación*, tal y como se define en:

$$-I - C_a - (C_R^0 - C_R^1)\,. \qquad \textbf{(6.5)}$$

Al sumar las expresiones **(6.1)** y **(6.5)** se consigue finalmente obtener la variación total del bienestar social (ΔW_h) asociada a este proyecto en cada uno de los años del horizonte de evaluación. El VAN_S se obtiene mediante

$$VAN_S = \sum_{h=2019}^{2069} \frac{\Delta W_h}{(1+r)^{2020-h}} \,,$$

y el resultado correspondiente es positivo, tal y como se resume en la **Tabla 6.1**. En este ejemplo, todos los valores que representan ahorros de tiempo son lo suficientemente amplios como para compensar los costes sociales de la nueva infraestructura y servicios y, por lo tanto, el proyecto debería llevarse a cabo desde el punto de vista de su contribución neta al bienestar social.

Es necesario señalar, tal y como se muestra en la **Tabla 6.1**, que la mayoría de los beneficios de este proyecto se obtienen a partir de los costes evitados y del valor neto del ahorro de tiempo de los usuarios desviados, en particular los del tramo **A-A'** y **A-B**, aunque no se representen por separado. También cobran una importancia significativa los beneficios que conlleva la reducción de la congestión, aunque estos beneficios se concentran en los primeros años de operación del proyecto ya que, a medida que el tráfico aumenta con el tiempo, también la congestión se intensifica. En cuanto a los costes, la mayor parte corresponde a la operación y al mantenimiento, que se incrementan con el número de trenes por kilómetro. Los demás costes externos, aparte de la congestión, no se han incluido en este ejemplo.

Tabla 6.1. Evaluación económica del proyecto ferroviario suburbano

	Valores reales en euros de 2019
Ahorro de tiempo (usuarios existentes de trenes)	**74.326.056,84 €**
Disposición a pagar (usuarios de ferrocarril generados)	**177.740.026,85 €**
Ahorro de tiempo (usuarios de ferrocarril desviados de la carretera)	**-3.015.060.410,90 €**
Costes evitados (usuarios de ferrocarril desviados de la carretera)	**5.314.451.507,11 €**
Ahorro de tiempo (usuarios de carreteras debido a menor congestión)	**1.565.125.398,66 €**
Costes de inversión	**-105.212.555,38 €**
Costes de adquisición de material rodante	**-79.488.806,81 €**
Costes de operación y mantenimiento de infraestructuras	**-707.321.021,11 €**
Costes de operación y mantenimiento de servicios	**-808.366.881,27 €**
VANs	**2.416.193.313 €**

Tampoco se ha realizado un análisis explícito de los WEB en este ejemplo, aunque las conclusiones deben seguir los patrones que se describen en la **Sección 6.2**. Sin embargo, para concluir la evaluación, podemos realizar un breve análisis de riesgos a través de la identificación y de la elaboración de modelos de las variables clave, cuya incertidumbre asociada puede afectar a la mayoría de los resultados del *VANs*. En concreto, y de acuerdo con los procedimientos que se describen detalladamente en la **PARTE I** de este informe, podemos suponer que el análisis de sensibilidad en este caso nos permite identificar al menos cinco parámetros clave relacionados con los riesgos de coste y demanda:

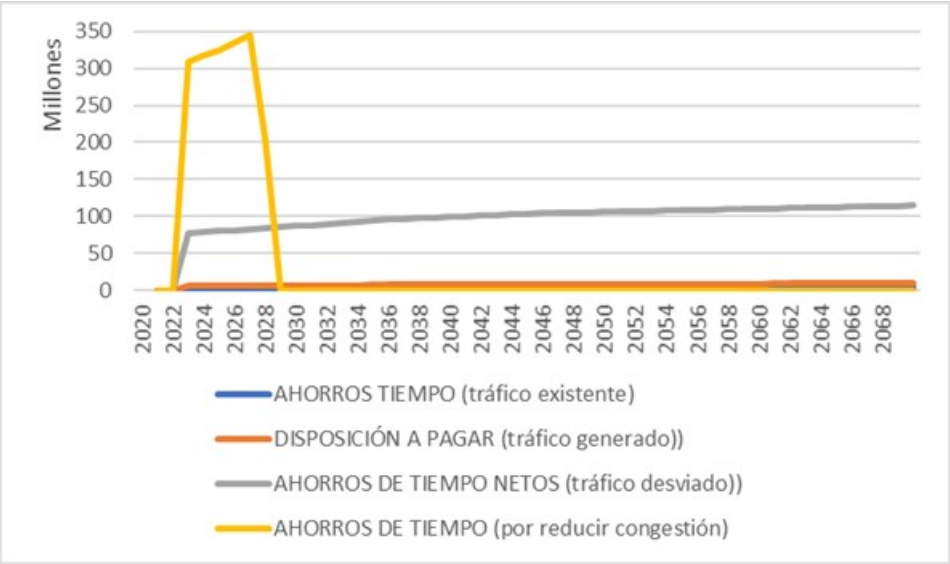
- Para modelizar la posibilidad de que se produzcan *excesos* en los costes de inversión,[34] se utilizará una distribución uniforme entre el 0 % y el 30 %.
- Para modelizar la posibilidad de que se produzcan sobrecostes en los costes unitarios de operación y mantenimiento, también se empleará una distribución similar.
- Para modelizar la posible existencia de una sobrevaloración de la previsión de la demanda, se usará una distribución triangular entre –30 % y +5 % (con el 0 % como valor más probable).
- En lugar de asignar un único valor, el porcentaje de la demanda generada se modelizará mediante una distribución triangular entre el 2 % y el 10 % (con el 3 % como valor más probable).

[34] Véase Flyvbjerg *et al.* (2003), por ejemplo.

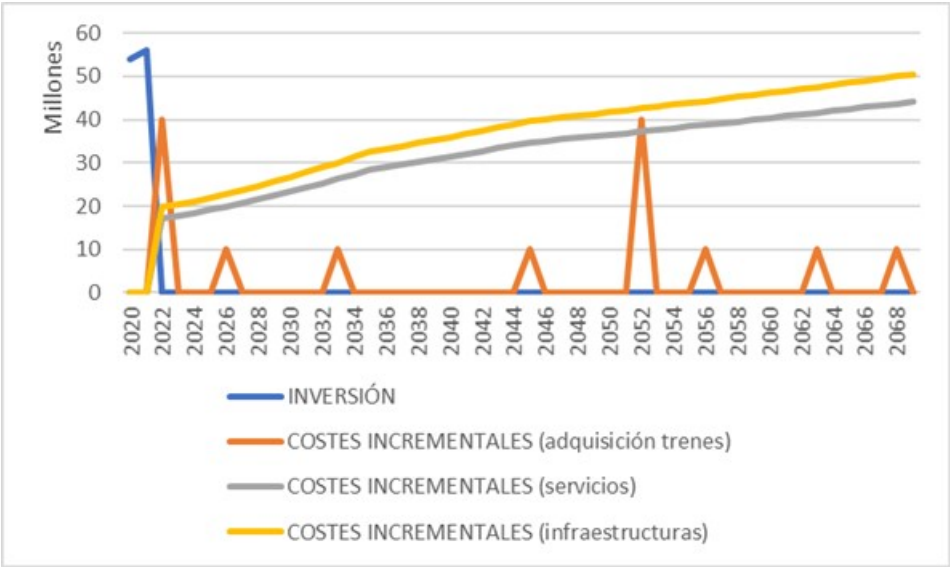
- Igualmente, el porcentaje de tráfico desviado se representará mediante una distribución triangular entre el 5 % y el 15 % (con el 10 % como valor más probable).[35]

Figura 6.5. Evolución de los beneficios y costes sociales

Beneficios



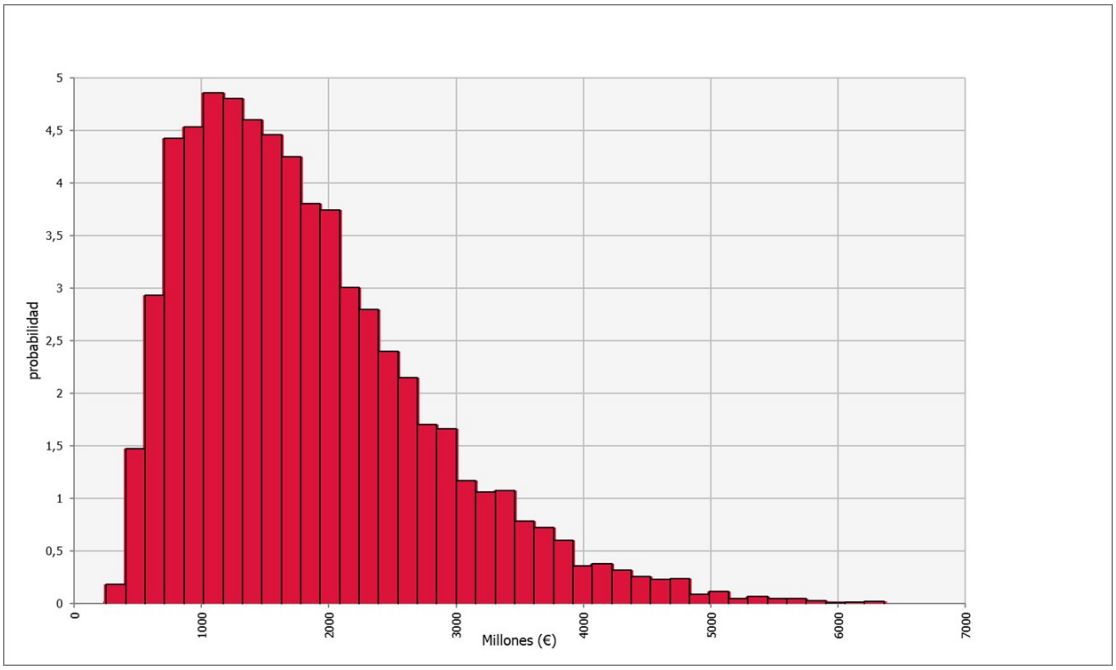
Costes



[35] También se supondrá que estas dos distribuciones finales están positivamente relacionadas.

Teniendo en cuenta estas premisas, el análisis de riesgo se llevó a cabo cuantitativamente con un *software* especializado para realizar 10.000 simulaciones. La técnica consistía en una simulación de Monte Carlo con un método de muestreo aleatorio de cada distribución de probabilidad diferente seleccionada para el modelo que se estaba utilizando. Las variables se consideran independientes entre sí, por lo que el valor de cada «extracción» es aleatorio para cada variable a fin de calcular el correspondiente *VANs*, cuya distribución de probabilidad se presenta finalmente en la **Figura 6.6**. Como se puede observar, la probabilidad de obtener un *VANs* negativo es de 0 %, lo que demuestra que se puede tomar una decisión positiva sobre este proyecto incluso sin considerar otros beneficios adicionales, incluyendo los WEB.

Figura 6.6. Análisis de riesgos: distribución de la probabilidad del VANS



Simulation Summary Information	
Workbook Name	SUBURBAN RAIL EXAMPLE
Number of Simulations	1
Number of Iterations	10000
Number of Inputs	5
Number of Outputs	1
Sampling Type	Latin Hypercube
Simulation Start Time	1/8/20 13:41:10
Simulation Duration	00:02:48
Random # Generator	Mersenne Twister
Random Seed	1828292871

Summary Statistics for SOCIAL NPV			
Statistics		**Percentile**	
Minimum	252.891.532	**5%**	648.627.867
Maximum	6.360.537.378	**10%**	782.051.113
Mean	1.826.808.818	**15%**	893.430.755
Std Dev	948.261.038	**20%**	1.000.012.735
Variance	8,99199E+17	**25%**	1.102.055.050
Skewness	1	**30%**	1.205.436.246
Kurtosis	4	**35%**	1.312.028.739
Median	1.643.295.188	**40%**	1.421.377.922
Mode	1.032.217.391	**45%**	1.528.561.570
Left X	648.627.867	**50%**	1.643.295.188
Left P	0	**55%**	1.762.046.220
Right X	3.676.281.660	**60%**	1.889.757.140
Right P	1	**65%**	2.022.079.661
Diff X	3.027.653.793	**70%**	2.168.436.527
Diff P	90%	**75%**	2.345.357.988
#Errors	0	**80%**	2.548.407.611
Filter Min	Off	**85%**	2.804.005.756
Filter Max	Off	**90%**	3.149.408.659
#Filtered	0	**95%**	3.676.281.660

ANEXO A. EXAMEN DE LOS MANUALES Y GUÍAS SOBRE EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS

En este anexo se examinan brevemente dos de las directrices oficiales más recientes relacionadas con la metodología para la evaluación económica de los proyectos de transporte ferroviario. Como se explica en la **PARTE I** de este informe, existen varios manuales más generales del ACB que a veces incluyen una sección o ejemplos de proyectos de transporte y, en algunos casos, se refieren a las inversiones ferroviarias.

Por ejemplo, la *Guide to cost-benefit analysis of investment projects. Economic Appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020* (Comisión Europea, 2015), incluye un interesante caso de estudio de un proyecto consistente en la mejora de una sección ferroviaria de doble vía convencional que forma parte del eje Prioridad RTE-T.[36] El objetivo del proyecto es mejorar el nivel del servicio ferroviario en un corredor importante, reduciendo los tiempos de viaje, aumentando la capacidad y mejorando la seguridad, contribuyendo así a mejorar la percepción social del modo ferroviario a nivel nacional y europeo. Los principales beneficios de este proyecto se cuantifican como ahorros de tiempo de viaje para los usuarios existentes, reducción de los costes de operación para los proveedores de servicios y ganancias para el tráfico desviado de la carretera al ferrocarril a través de una reducción de los costes de congestión y accidentes. Este estudio de caso proporciona una evaluación financiera y económica detallada realizada utilizando un período de referencia de 30 años con tasas de descuento respectivas del 4 % y el 5 %. Desde un punto de vista metodológico, el análisis se lleva a cabo utilizando el enfoque de cambio en los excedentes, calculando el excedente de los usuarios, el excedente de los productores y los cambios en los costes externos. No se incluye ninguna referencia al excedente de los contribuyentes o de los trabajadores. La tasa interna de rentabilidad es del 10,6 %, y el *VANs* es de 880 millones de euros. La evaluación se completa con un análisis de sensibilidad (para determinar las variables 'críticas' cuyas variaciones, positivas o negativas, tienen el mayor impacto en los resultados económicos del proyecto), calculando además los valores críticos de las mismas (aquellos que hacen *VANs* = 0). También se incluye una evaluación de riesgos, considerando y modelizando el riesgo específico asociado con la construcción, la adquisición de tierras, los costes de mantenimiento y las previsiones de demanda.

[36] Esta guía también incluye un proyecto de transporte urbano que involucra construir y operar una línea de tranvía conjuntamente con otras políticas de transporte público y accesibilidad.

La guía de evaluación económica del Banco Europeo de Inversiones (BEI, 2013) también incluyen una discusión general sobre los elementos que deben definir la evaluación de un proyecto ferroviario y un estudio de un caso específico sobre los ferrocarriles interurbanos que consiste en la mejora de una línea de vía única que está operando cerca de su límite de capacidad y proporciona servicios de pasajeros y mercancías. El escenario contrafactual de *do-minimum* se define como invertir suficientes recursos en la infraestructura existente para mantener sus buenas condiciones de funcionamiento, mientras que el escenario de *do-something* incluye la instalación de una vía adicional para aumentar la capacidad, aunque no está previsto un aumento en la velocidad. El horizonte temporal para el análisis es de 35 años, que coincide con la vida económica media ponderada de los activos del proyecto. El análisis financiero se desglosa para el administrador de infraestructura y el operador de servicios y es negativo en ambos casos. Sin embargo, el análisis económico muestra que el proyecto genera suficientes beneficios para la sociedad para compensar sus costes sociales. La tasa interna de rentabilidad es del 7,2 % y el *VANs* está por encima de los 163 millones de euros. No se proporcionan análisis de sensibilidad y riesgo.

Las **Tablas A.1** a **A.2** proporcionan un análisis más detallado de la estructura y el contenido de otros dos manuales específicos del ACB para proyectos ferroviarios. El primero es Turró (2004), conocido como RAILPAG (*Railway Project Appraisal Guidelines*, por sus siglas en inglés), desarrollado para la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversiones. RAILPAG responde a la necesidad de disponer de procedimientos armonizados por la UE para la evaluación socioeconómica y financiera de los proyectos ferroviarios tras los últimos avances del sector, especialmente cuando se considera la financiación supranacional. De hecho, los métodos de evaluación utilizados en los distintos Estados miembros a menudo están todavía vinculados a la visión nacional del transporte ferroviario, caracterizada por la integración de los operadores de infraestructuras y servicios, una fuerte intervención pública y la falta de competencia, y tienden a obedecer a políticas de corto plazo en lugar de objetivos socioeconómicos a largo plazo. En algunos casos, los manuales de evaluación nacionales llevan muchos años sin actualizarse y las guías de evaluación disponibles no se adaptaban suficientemente al nuevo contexto de liberalización, separación de infraestructuras y operaciones, mayor rendición de cuentas y la integración de los ferrocarriles a nivel europeo.

El segundo es el manual español de ADIF (ADIF, 2018), que proporciona un enfoque técnico para la evaluación económica de los proyectos ferroviarios, cuando se definen desde una perspectiva nacional. Este manual actualiza las versiones anteriores e incluye varios anexos con características específicas para diferentes tipos de proyectos

ferroviarios, desde mejoras de vías hasta la construcción de nuevas estaciones o terminales.

Tabla A.1. Algunas guías oficiales para la evaluación de proyectos de transporte ferroviario (I)

Nombre abreviado	**RAILPAG (2007)**
Nombre completo	*RAILPAG* *RAILWAY PROJECT APPRAISAL GUIDELINES*
Institución	Comisión Europea Banco Europeo de Inversiones
Fecha de publicación	2007
Idioma	Inglés
Descripción breve	RAILPAG tiene como objetivo proporcionar un marco común para la evaluación de los proyectos ferroviarios en toda la UE. Comienza analizando la relación entre los diversos agentes en el sector ferroviario y luego describiendo los procesos que conducen a decisiones sobre estos proyectos. Los capítulos siguientes ofrecen indicaciones sobre cómo llevar a cabo un ACB adaptado a las condiciones particulares de los proyectos ferroviarios, proporcionando algunas orientaciones sobre los aspectos más generales, como los trabajos preparatorios y el análisis económico. Se centra en los elementos más relevantes para los proyectos ferroviarios y en los criterios y parámetros que deben utilizarse en el análisis económico, que deben especificarse y armonizarse correctamente a nivel europeo. RAILPAG considera que, para proyectos complejos y grandes, los efectos distribucionales de una inversión son un componente importante para los responsables de la toma de decisiones y, por lo tanto, muestra cómo los resultados del ACB pueden presentarse de manera que se facilite la comprensión de las consecuencias del proyecto, sobre la base de una matriz de efectos de los agentes interesados. El texto es relativamente autónomo y no requiere tener experiencia previa en la evaluación de proyectos. Después de la introducción, el documento se estructura en cuatro temas principales: 1. *Procedimientos de evaluación*, definiendo el lugar que ocupan los diferentes agentes en el proceso. 2. *Elementos generales*, incluida la definición del proyecto, las alternativas y las previsiones de la demanda. 3. *Análisis financiero y económico*, en el que se examinan los principales beneficios y costes, incluidos algunos aspectos particulares pertinentes para los proyectos ferroviarios, como las cuestiones de capacidad, el período de evaluación y los tipos de descuento. 4. *Aplicaciones* relacionadas con la aplicación práctica de la metodología y la presentación de resultados. El documento también incluye dos anexos con tablas que proporcionan indicadores y valores que se consideran particularmente pertinentes. El anexo C consiste en comentarios generales seguidos de un conjunto de fichas en las celdas clave de la matriz. El anexo D muestra 10 casos de estudio, que reflejan toda una serie de inversiones ferroviarias, que pueden utilizarse para mostrar su utilidad. Por último, el anexo E contiene algunas referencias, en su mayoría relativas a documentos o proyectos de investigación específicos de la UE.
Fuente	www.eib.org/en/publications/railpag-railway-project-appraisal-guidelines

Tabla A.2. Algunas guías oficiales para la evaluación de proyectos de transporte ferroviario (II)

Nombre abreviado	**ADIF (2018)**
Nombre completo	*GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INVERSIONES DE FERROCARRIL.*
Institución	Dirección General ADIF. *Subdirección de estudios de demanda y planificación de inversiones*
Fecha de publicación	2018 (versiones previas desde 2008 a 2016)
Idioma	Español
Descripción breve	Este documento que consta de dos volúmenes ofrece un conjunto completo de directrices para el análisis económico de proyectos de transporte definidos desde una perspectiva nacional. El volumen I analiza el nuevo contexto socioeconómico de la industria ferroviaria en España y Europa y analiza la metodología general para definir un proyecto ferroviario, incluido un análisis del papel desempeñado por los diferentes agentes. A continuación, proporciona orientación específica para el análisis financiero, distinguiendo la perspectiva del administrador de infraestructuras (ADIF) y el punto de vista de las empresas que prestan servicios ferroviarios. Para el análisis económico, hay una discusión detallada de los precios sombra y cómo se deben aplicar. Asimismo, el volumen I incluye una metodología para una evaluación cualitativa (no obligatoria), así como una descripción de los procedimientos para la sensibilidad y los análisis de riesgos. Existen varios anexos con información detallada sobre los ingresos y costes unitarios de la ADIF, los precios unitarios de las inversiones, los precios y los costes de otros modos de transporte, los parámetros en el horizonte de evaluación y la vida económica de los activos pertinentes, el valor del tiempo, descuentos y costes externos. El volumen II contiene una descripción más desglosada de los diferentes tipos de proyectos que pueden evaluarse y sus principales especificidades por tipo de línea y tecnología. También analiza diferentes métodos para la estimación de la demanda, basados en el modelo de cuatro etapas o en la proyección de ratios de movilidad. El manual incluye algunas referencias anteriores e incluso algunos valores de parámetros sobre el coste de adquisición y mantenimiento del material rodante de acuerdo con las arquitecturas y tamaños, así como otros costes operativos para ellos. En resumen, se trata de un manual que no proporciona un análisis metodológico detallado de los procedimientos del ACB, sino que contiene información de referencia muy útil para la mayoría de los parámetros necesarios en la evaluación económica de los proyectos ferroviarios.
Fuente	No disponible en internet

ANEXO B. VARIABLES E INFORMACIÓN DE LAS FUENTES PARA EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE PROYECTOS FERROVIARIOS

Las tablas de este anexo proporcionan una lista de verificación final de los principales datos necesarios para realizar un ACB de un proyecto ferroviario de acuerdo con la metodología examinada en este documento. Se agrupan en tres categorías (*parámetros generales, parámetros de costes y parámetros de demanda*) e incluyen una breve explicación de su relevancia y características, así como una referencia a posibles fuentes de datos. Estas tablas están en consonancia con las recomendaciones generales de la guía de la Comisión Europea (2015) para el ACB de los proyectos de inversión y Comisión Europea (2019) sobre los costes externos del transporte, aunque otras guías y manuales, como los mencionados en el **Anexo A**, también pueden ser de interés.[37]

Tabla B.1. Parámetros generales

	Comentarios y fuentes
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	La evaluación económica de un proyecto de transporte siempre debe incluir una descripción breve de las alternativas a evaluar y situaciones hipotéticas (caso de referencia) con respecto a la cual se realizará la medición incremental de beneficios y costes. Esta información se puede obtener de los documentos técnicos/estudios de planificación asociados con el proyecto.
HORIZONTE DE EVALUACIÓN	El período (año) de referencia inicial para la evaluación económica es una decisión subjetiva, aunque en el ACB *ex ante* se considera típicamente el año en que se va a tomar la decisión. La duración del horizonte de evaluación debe estar asociada a la vida económica de los activos involucrados en el proyecto, aunque la Comisión Eruopea (2015) recomienda 30 años.
TARIFA DE DESCUENTO	La interpretación económica de la tasa de descuento en el ACB está relacionada con la tasa intertemporal de sustitución del consumo para los usuarios y el coste de oportunidad del capital. Como referencia general, la Comisión Europea (2015) recomienda una tasa del 5 % para los grandes proyectos en los países de cohesión y del 3 % para los demás Estados miembros. Las tasas de descuento financiero pueden ser más altas.
PRECIOS SOMBRA	Los precios sombra se utilizan para convertir los precios de mercado en precios que reflejan los verdaderos costes de oportunidad. Las fuentes de distorsiones incluyen las ineficiencias del mercado, la existencia de precios regulados, impuestos y subsidios. Las correcciones fiscales y la conversión del mercado a los precios sombra deben abordarse teniendo en cuenta los tipos impositivos aplicados a cada *input* (IVA, aduanas, impuestos sobre la renta) y utilizando tablas adecuados de factores de conversión. Sin embargo, el valor de estos factores de conversión puede variar dependiendo de las fuentes (Comisión Europea, 2015; BEI 2013, por ejemplo). En el caso de los salarios sombra, la fuente de los *inputs* de trabajo utilizados en el proyecto deben identificarse adecuadamente para definir los costes de oportunidad correspondientes. Una comparación de los salarios sombra en las diferentes regiones de la UE puede encontrarse, por ejemplo, en Florio et al. (2011).

[37] Como se ha explicado en la sección anterior, el administrador de infraestructuras en España (ADIF) tiene su propia guía. Como autoridad de planificación, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana también publica actualizaciones periódicas sobre varios parámetros técnicos, como el valor del tiempo, los costes externos de los accidentes y otros valores conexos.

Tabla B.2. Lista de comprobación de parámetros de coste

	Comentarios y fuentes
Costes de inversión	Los costes de inversión están estrechamente relacionados con la definición del proyecto. Deben incluir todos los pagos asociados con los *inputs* requeridos por el proyecto, incluidos los estudios de planificación y evaluación, la adquisición y preparación del terreno, las obras de ingeniería, los materiales, la mano de obra y otros *inputs*. Estas partidas de costes deben desglosarse en la medida de lo posible y atribuirse correctamente al período en el que tienen lugar. La fuente principal de información para estos costes son los documentos técnicos/estudios de planificación asociados al proyecto y otras fuentes de instituciones públicas o privadas encargadas de realizarlo. En algunos casos, cuando la información no está totalmente disponible, los valores unitarios estándar (como se sugieren en ADIF, 2018 o en la literatura económica pertinente) pueden utilizarse como referencias. Es importante tener en cuenta la posibilidad de sobrecostes, que pueden aumentar los costes de construcción o retrasar el tiempo de construcción. Con respecto al valor residual de los activos, deben estar en línea con su vida útil económica y el horizonte de evaluación. Las recomendaciones generales sobre estas cuestiones están generalmente disponibles en los manuales y directrices mencionados en el **Anexo A**.
Costes de operación y mantenimiento (ferrocarril)	Los costes de operación y mantenimiento, ambos para infraestructura, el material rodante y otros activos asociados (estaciones) e *inputs* (piezas de repuesto y costes de mano de obra), son variables críticas para el proceso de evaluación, pero no siempre fácil de obtener. Algunos de estos elementos de coste pueden ser independientes del volumen de tráfico (mantenimiento programado, por ejemplo), mientras que otros elementos varían de acuerdo con la intensidad de uso (tren-km) o la demanda (número de pasajeros-km o tonelada-kms). Las fuentes principales para estos costes son el administrador de infraestructuras y las empresas operadoras, aunque los valores de referencia pueden obtenerse de las guías generales y literatura relacionada, como se ha indicado anteriormente. Estas partidas de costes también deben desglosarse en la medida de lo posible y atribuirse al período en el que tienen lugar.
Costes de adquisición del material rodante (ferrocarril)	Para el ACB *exante*, el tamaño de la flota debe estimarse de acuerdo con la demanda esperada, la frecuencia y la capacidad de los servicios que se prestarán. La vida útil del material rodante (según sus niveles de uso y mantenimiento) también debe tenerse en cuenta para su renovación. Las estimaciones sobre los costes unitarios de adquisición varían en gran medida y es difícil proporcionar referencias generales. En cualquier caso, las características específicas del proyecto deben tenerse en cuenta al decidir sobre la adquisición de material rodante.
Otros costes (otros modos)	Los costes (evitados) en modos de transporte alternativos son pertinentes para el ACB de proyectos ferroviarios. Esta información debe obtenerse de operadores públicos o privados de cada sector, oficinas estadísticas o literatura relacionada relevante. Los costes de funcionamiento de los usuarios asociados a los vehículos privados (coches, furgonetas, camiones, etc.) deben estimarse teniendo en cuenta los diferentes componentes de estos costes (gasolina, reparaciones, seguros, etc.) y sus cambios con y sin el proyecto. También se pueden encontrar referencias y valores adicionales en Betancor et al. (2009).
Costes externos	La referencia principal y más actualizada de los costes externos relacionados con el transporte ferroviario puede consultarse en Comisión Europea (2019). Cuando no se pueden estimar los impactos específicos del proyecto, este documento incluye valores detallados de parámetros para estimar los costes de accidentes, de congestión y de externalidades ambientales relacionadas con el ruido, los daños del hábitat, los efectos en el paisaje, la contaminación del aire, cambio climático, etc.

Tabla B.3. Lista de comprobación de parámetros de demanda

	Comentarios y fuentes
Demanda existente (ferrocarril y otros modos)	La demanda existente en términos de número de pasajeros y/o mercancías transportadas puede obtenerse de los operadores de transporte en el corredor, tanto para el ferrocarril como para otros modos de transporte. Es muy importante desagregar las diferentes secciones bajo estudio, así como los principales orígenes y destinos ofrecido por cada operador. Cuando sea pertinente, los datos también deben incluir el uso de estaciones y otras infraestructuras (aeropuertos, estaciones de autobuses, etc.). Los datos deben incluir los precios monetarios y los tiempos de viaje (frecuencias), así como la posible existencia de períodos picos/valle a lo largo del año. También deben detallarse los impuestos y subvenciones pertinentes.
Distribución modal (con el proyecto)	Para la evaluación *ex ante* de los proyectos de inversión ferroviaria, es necesario tener una predicción adecuada de la demanda (pasajeros y mercancías) por modos de transporte para cada uno de los años del horizonte de evaluación, tanto para la situación «con proyecto» como «sin proyecto». Esta predicción de la distribución modal se puede realizar a través de diferentes técnicas estadísticas, tanto cuantitativas como cualitativas, cuya calidad determina en gran medida la fiabilidad de la evaluación. En los análisis *ex post*, se pueden usar los datos reales de los operadores de transporte.
Ingresos, precios y costes de los usuarios	Dado que la información sobre el precio pagado por cada pasajero no siempre está disponible, es común utilizar los datos de ingresos medios por pasajero como aproximación. Sin embargo, es importante tener en cuenta los diferentes tipos de precios monetarios (algunos de ellos, variables), así como la existencia de descuentos o subvenciones especiales para determinados grupos. En el caso de los costes de usuarios asociados a los automóviles privados, los precios unitarios deben calcularse sobre la base de las principales partidas de costes implicadas (combustible, reparaciones, seguros, etc.), teniendo en cuenta que algunas de ellas varían con la distancia recorrida. La fuente principal para estos datos son los operadores u organismos estadísticos sectoriales, aunque a veces se pueden hacer varias estimaciones sobre la evolución futura de estos valores en función de las expectativas de cada sector (por ejemplo, introducción de la competencia, privatización, etc.)
Tiempo de viaje y valor del tiempo	Los valores de tiempo de viaje deben ser específicos del proyecto, o estimarse a partir de la distancia y la velocidad comercial media, distinguiendo, al menos, el tiempo a bordo del vehículo, acceso y egreso desde el origen y hasta el destino y el tiempo medio de espera por pasajero y unidad de carga. En el caso de las redes, también debe tenerse en cuenta la existencia de «efecto Mohring» asociados a cambios de frecuencia. El ahorro de tiempo de viaje suele ser la fuente principal de beneficios para muchos proyectos de transporte y debe medirse cuidadosamente. El valor del tiempo también debe ser desagregado, penalizando, si es necesario, aquellos que generan una mayor desutilidad. Se pueden utilizar parámetros generales por país (véase HEATCO, 2006, o Comisión Europea, 2019) teniendo en cuenta el modo de transporte y la distribución de los motivos de viaje.

REFERENCIAS

ADIF (2018): *Guía para la evaluación de inversiones de ferrocarril*. Dirección General. Subdirección de Estudios de Demanda y Planificación de Inversiones. ADIF. Madrid.

BEI: Banco Europeo de Inversiones (2013): *The economic appraisal of investment projects at the EIB*. Disponible en: www.eib.org/en/publications/economic-appraisal-of-investment-projects.

Betancor, O., Moral., E y J. Campos (2009): Producer and user costs estimation in transport projects evaluation. CEDEX Working Paper, Disponible en: www.evaluaciondeproyectos.es/

Betancor, O. y G. Llobet (2015): *Contabilidad Financiera y Social de la Alta Velocidad en España*, FEDEA 2015/08. Madrid.

Campos, J. y G. de Rus (2009): 'Some stylized facts about high speed rail. A review of HSR experiences around the world', *Transport Policy* 16: 19-28.

Campos, J., de Rus, G., y I. Barron (2009): 'The cost of building and operating a new high speed rail line', en De Rus, G. (ed.) *Economic Analysis of High Speed Rail in Europe*, BBVA Foundation.

Comisión Europea (2015): *Guide to cost-benefit analysis of investment projects. Economic Appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Bruselas.

Comisión Europea (2019): *Handbook on the external costs of transport*, Bruselas.

de Rus, G. (2010): *Introduction to Cost-benefit Analysis: Looking for Reasonable Shortcuts*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

de Rus, G., Campos, J., Graham, D. y M.P. Socorro (2019): *Guidelines for the economic assessment of transport projects with applications to investment in rail infrastructure and transfers to increase mobility. Output II.1: A general methodology for cost-benefit analysis in transport.*, University of Las Palmas de Gran Canaria, mimeo.

Duranton, G. y D. Puga (2004): 'Micro-foundations of urban agglomeration economies', en J.V. Henderson y J.-F. Thisse (eds), *Handbook of Urban and Regional Economics*, Vol. 4: Cities and Geography, North Holland: Elsevier, 2063–117.

ECA: European Court of Auditors (2018): *A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork*. Special Report. Luxembourg. Disponible en: www.eca.europa.eu/.

Florio, M., Fiorio, C. y C. del Bo (2011): 'Shadow Wages for the EU Regions', *Fiscal Studies*, 32(1): 1-40. Università degli Studi di Milano Working Paper No. 2009-42.

Flyvbjerg, B., Bruzelius, N. y Rothengatter, W. (2003): *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*, Cambridge (UK): Cambridge University Press.

García-Álvarez, A. (2016): *Explotación de los servicios de transporte de viajeros. La demanda en el transporte de viajeros. Generación, evolución y reparto modal*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

González Franco, I. (2015): 'Metodología para la estimación de la combinación de velocidades máximas que permiten alcanzar el tiempo de viaje comercialmente requerido en una infraestructura ferroviaria'. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya.

Graham, D.J. (2007): 'Agglomeration, Productivity and Transport Investment', *Journal of Transport Economics and Policy* 41(3): 317–343

HEATCO (2006): Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO). Deliverable D5: Proposal for harmonised guidelines, Stuttgart: IER University of Stuttgart.

Laurino, A., Ramella, F., y P. Beria (2015): 'The economic regulation of railway networks: a worldwide survey', *Transportation Research. Part A* 77: 202–212.

Martín Cañizares, M.P. (2015): 'Contribución al diseño eficiente de la configuración en planta de líneas de alta velocidad'. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya.

Ministerio de Fomento (2017): *Revisión de los servicios ferroviarios de viajeros declarados como Obligación de Servicio Público*. Gobierno de España. Madrid.

Nash, C.A. (2014): 'Appraisal in the rail sector: General issues and British experience in dealing with them', *Research in Transportation Economics* 47: 19-26.

Nash, C.A., Nilsson, J.E. y H. Link (2013): 'Comparing three models for introduction of competition into railways', *Journal of Transport Economics and Policy* 47 (2): 191–206.

Preston, J. (2013): *The Economics of Investment in High-Speed Rail*. Brussels. OECD.

Turró, M. (2004): RAILPAG. *Railway Project Appraisal Guidelines*, European Commission and European Investment Bank. Disponible en: www.eib.org/en/publications/railpag-railway-project-appraisal-guidelines

UIC (2018): *High speed rail: fast track to sustainable mobility*. International Railways Union. Paris. Disponible en: www.uic.org

Vassallo, J.M., Ortuño, A. y O. Betancor (2017): *Las cuentas del transporte en España, Estudios sobre la Economía Española*. Fundación de Estudios de Economía Aplicada, FEDEA.

Venables, A.J. (2007): 'Evaluating urban transport improvements: cost-benefit analysis in the presence of agglomeration and income taxation', *Journal of Transport Economics and Policy* 41(2): 173-188.