EVALUACIÓN DEL GASTO PÚBLICO 2019

ESTUDIO

INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

ANEXO 8

Análisis coste beneficio ex post de la alta velocidad en España

AIReF
Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal

Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal

La Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal (AIReF) nace con la misión de velar por el estricto cumplimiento de los principios de estabilidad presupuestaria y sostenibilidad financiera recogidos en el artículo 135 de la Constitución Española.

Contacto AIReF:

C/José Abascal, 2, 2º planta. 28003 Madrid, Tel. +34 910 100 599

Email: Info@airef.es.

Web: www.airef.es

Esta documentación puede ser utilizada y reproducida en parte o en su integridad citando necesariamente que proviene de la AIReF

ÍNDICE

1. CORREDORES ANALIZADOS Y ALCANCE 3

2. DATOS 5

3. DECISIONES METODOLÓGICAS 8

3.1. Escenario con y sin proyecto 8

3.2. Modelo para el cálculo de captación y generación de demanda en las relaciones analizadas 9

3.3. Inversiones y reposiciones en infraestructura y material rodante 14

3.4. Costes operativos incurridos y evitados 19

3.5. Costes externos incurridos y evitados 22

3.6. Ahorros de tiempo de la demanda captada y beneficios del tráfico generado 24

4. CONSIDERACIONES SOBRE LA EXPOSICIÓN DE RESULTADOS 32

1. CORREDORES ANALIZADOS Y ALCANCE

Este documento detalla la metodología empleada en el análisis coste beneficio de los cuatro corredores de alta velocidad cuyas conclusiones se han expuesto en el capítulo 5 del informe del Spending Review sobre infraestructuras de transporte. El marco teórico de la evaluación realizada, así como otras consideraciones metodológicas están también incluidas en los anexos 2 y 3, recogiendo el presente documento los supuestos, aclaraciones y consideraciones prácticas que los autores del estudio han creen relevantes para un entendimiento en detalle de los trabajos realizados

Dentro del alcance del análisis se incluye solo las líneas en operación en diciembre de 2018. Las líneas en construcción, por tanto, no se tienen en consideración, ni sus inversiones ni los futuros efectos derivados de su explotación.

Para la elaboración del análisis se han delimitado **cuatro corredores** en función de la geografía: **levante, sur, norte y nordeste.** El análisis por corredores permite un mayor nivel de detalle a la hora de determinar los condicionantes y conclusiones relativos a cada uno. Pero al mismo tiempo permite analizar de manera conjunta líneas de AV que comparten tramos (p. ej. las líneas Madrid-Sevilla y Madrid-Málaga comparten tramo hasta Córdoba).

El **corredor sur** fue el primero en inaugurarse en España con motivo de la Expo de Sevilla'92, conectando Madrid con la capital andaluza. Dicha línea contaba con estaciones en las provincias de Ciudad Real y Córdoba. En 1993 se amplían los servicios hasta Cádiz (Alvia). Tras 12 años sin nuevas aperturas, en 2005 se inaugura la conexión de Madrid con Toledo. El ramal Córdoba-Málaga se abre en 2007.

El **corredor nordeste** conecta las dos ciudades españolas con más población, Madrid y Barcelona y alcanza la frontera con Francia. A finales de 2003, se inaugura la primera línea del corredor, Madrid-Zaragoza-Lleida, además del ramal Zaragoza-Huesca. En 2006, se abre la línea Lleida-Tarragona. La alta

velocidad llega a Barcelona en 2008. Finalmente, en 2013 el corredor alcanza la frontera francesa, con estaciones en Girona y Figueres.

El **corredor levante** conecta Madrid con la costa mediterránea. Recorre las provincias manchegas de Cuenca y Albacete hasta alcanzar las tres provincias de la Comunitat Valenciana. Se inauguró en 2011 con la línea que conecta Madrid con Valencia y se amplió hasta Alicante en 2013. En 2018 se abren las conexiones del corredor Levante con Castellón.

El **corredor norte** se planifica con el objetivo de conectar Madrid con Castilla y León y las comunidades de la costa Cantábrica. Se inaugura en 2008 con los tramos Madrid-Segovia y Segovia-Valladolid. La alta velocidad llega a Galicia en 2012 conectando Santiago de Compostela con Ourense y A Coruña. En 2015, se abre el ramal Santiago de Compostela-Vigo, completando las líneas de alta velocidad existentes en Galicia. Las provincias de León, Palencia y Zamora inauguran sus líneas de alta velocidad en 2016.

GRÁFICO 1. SITUACIÓN RED DE ALTA VELOCIDAD EN DICIEMBRE DE 2018

Fuente: Adif

2. DATOS

El objetivo principal de la base de datos construida ha sido disponer de referencias que permitieran analizar individualmente cada una de las relaciones origen-destino con servicios de alta velocidad.

Por otra parte, para una correcta aplicación de la metodología de análisis coste beneficio los datos esenciales son: costes de Inversión y mantenimiento de las infraestructuras, costes e ingresos operacionales de los operadores y gestores de infraestructura y datos de tráficos para cada uno de los modos de transporte antes y después de la puesta en servicio de la alta velocidad.

La principal novedad de este estudio es que ha sido posible construir una base de datos de gran precisión que permite estimar individualmente los beneficios y costes en más de 700 pares de origen-destino. Para ello ha sido necesario obtener información detallada de cada una de estas relaciones, así como una importante labor de gestión y homogeneización de bases de datos procedentes de diferentes fuentes.

Como resultado, estos datos permiten realizar el ACB ex-post holístico de la red de alta velocidad en España más completo y pormenorizado hasta la fecha.

Se detallan a continuación los principales datos utilizados para el análisis, diferenciándolos por sus fuentes:

- **Adif**
  - Costes operacionales de ADIF en operación de trenes de alta velocidad y en las estaciones (2005-2018).
  - Costes de construcción de las líneas de alta velocidad y sus estaciones (1997-2018).
  - Cánones percibidos por ADIF en líneas de alta velocidad (2005-2018).
  - Estimaciones del precio sombra en España.

- **Renfe**
  - Viajeros en las principales rutas de Larga Distancia (LD) 1993-2018.
  - Resultados de encuestas realizadas por Renfe incluyendo variables como motivo del viaje.
  - Frecuencias medias diarias en las principales rutas de LD 1985-2019.

- Matriz Origen Destino de todas las estaciones con servicios de alta velocidad para todo tipo de productos incluyendo las siguientes variables (2008-2018):
    - Viajeros
    - Viajeros-km
    - Ingresos operacionales
- Costes e ingresos operacionales de Renfe en cada una de las líneas de alta velocidad (2010-2018).
- Costes de mantenimiento del material rodante de alta velocidad (2002-2018).
- Inversión en trenes de alta velocidad (1992-2018)

Gracias a contar con estos datos se ha podido hacer un análisis pormenorizado de más de 700 rutas en las que se ha podido estimar los costes y beneficios de la alta velocidad asociados a cada una de ellas.

- **Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana**

Procedentes de la Dirección General de Transporte Terrestre para la realización de este estudio se han utilizado los siguientes datos:

- Datos de viajeros en autocar para las relaciones Origen-Destino entre ciudades por las que viaja el AVE incluyendo las siguientes variables (2004-2018):
    - Viajeros
    - Viajeros-km
    - Recaudación
- Datos de viajeros en autocar para entre todas las provincias de España incluyendo las siguientes variables (2004-2018):
    - Viajeros
    - Viajeros-km
    - Recaudación

- **AENA**

- Matriz origen destino con todos los pasajeros entre todos los Aeropuertos Españoles (2004-2018),
- Matriz origen destino con todas las operaciones entre todos los Aeropuertos Españoles (2004-2018).
- Vuelos entre ciudades en las que el tren de alta velocidad inició sus operaciones antes de 2004.

- **Otras fuentes de datos**

- Observatorio del Transporte y la Logística en España – OTLE:

  - Costes operacionales del Autobús
  - Costes operacionales del vehículo privado
- *Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analyses*: Costes operacionales del avión.
- Manuales de Coste Beneficio de ADIF: Costes operacionales del tren convencional.
- Overview of transport infrastructure expenditures and costs de la Comisión Europea: Costes marginales de la circulación y operación de servicios de transporte en la infraestructura.
- Google Flights: precios de pasajes de avión.
- CheckMyBus: Precios de pasajes de autobús
- Fondo Monetario Internacional: Datos de PIB
- INE:
  - Índices de precios
  - Agregados Macroeconómicos
- Guía HEATCO: valor del tiempo.

Los datos obtenidos han permitido construir un análisis coste beneficio ex post con un alto nivel de detalle comparado con otros trabajos previos con el mismo objetivo. De hecho, se han construido los flujos de costes y beneficios sociales a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto. Para este proyecto se han estimado en torno a 2.500 flujos de costes y beneficios por corredor con un rango temporal que va desde el año 1987 hasta el año 2061.

3. DECISIONES METODOLÓGICAS

En el análisis coste beneficio existen dos métodos principales para calcular el cambio que un proyecto de transporte supone en el bienestar social: El método de *cambios en la disposición de pago y los recursos empleados* y el de *cambios en los excedentes de los agentes*. Los fundamentos microeconómicos de ambos métodos están descritos en el Anexo 3.

El modelo de evaluación se ha diseñado siguiendo el método de *cambios en la disposición de pago y recursos empleados*. Sin embargo, con el objetivo de aprovechar al máximo los datos recopilados y evitar supuestos no basados en la evidencia, se ha utilizado finalmente un *método mixto* que combina procesos de cálculo de ambos métodos mencionados.

3.1. Escenario con y sin proyecto

En el análisis coste beneficio, el incremento del bienestar derivado de la ejecución de un proyecto se cuantifica con valores monetarios frente a un escenario contrafactual en el que no se realiza el proyecto. Este escenario no representa necesariamente una situación en la que no se hace nada y se mantiene el estado actual de las infraestructuras, sino que representa lo que sucedería en caso de no realizar el proyecto. El principal objetivo de este tipo de análisis es determinar si la ejecución del proyecto reporta beneficios a la sociedad en comparación con el escenario contrafactual.

El principal problema derivado de la determinación del escenario contrafactual es la elaboración de las hipótesis que reflejen la evolución de un mundo sin proyecto, teniendo en cuenta los efectos económicos y sociales. En los casos en los que no existe infraestructura o servicios con anterioridad, se utiliza un escenario sin intervención (*do-nothing*). En el caso de que se esté mejorando un activo preexistente, se deben tener en cuenta los costes y beneficios de mantener ese servicio operativo (*business as usual*). Complementariamente, y siempre que sea factible, creíble y no cause costes o beneficios poco realistas, se pueden tener en cuenta pequeñas inversiones para actualizar el servicio existente (*do mínimum*).

En un caso óptimo, para el estudio que nos ocupa se debería establecer como contrafactual una inversión moderada en la infraestructura de ferrocarril convencional nacional que redujera ligeramente los tiempos de

viaje de una red envejecida y con pocos usuarios. Sin embargo, debido a la longitud de la red a estudiar y el periodo de tiempo tan extenso, resulta muy complejo estimar con la necesaria precisión la inversión y los resultados que tendría una mejora de la red de ferrocarril convencional. Por tanto, se ha utilizado como contrafactual el escenario *do-nothing* teniendo en cuenta los ahorros en mantenimiento de infraestructuras alternativas a la alta velocidad por menor uso en el escenario con proyecto.

3.2. Modelo para el cálculo de captación y generación de demanda en las relaciones analizadas

Para poder construir el escenario contrafactual con el que calcular los costes y los beneficios del proyecto, es necesario inferir en primer lugar la cantidad de viajes que capta la alta velocidad de otros modos de transporte, así como la nueva demanda inducida gracias a la ejecución del proyecto.

Estos parámetros son necesarios para calcular varios de los flujos de costes y beneficios considerados en el análisis, como los beneficios derivados de los ahorros de tiempo, los ahorros de las externalidades ambientales o los de costes operativos. Su correcta estimación es clave para que los resultados del ACB tengan la precisión necesaria, ya que dependiendo de cada relación origen destino y los distintos modos, los cálculos pueden variar bastante.

- **Inputs del modelo y predicciones**

El modelo parte de la evolución de la demanda de pasajeros de los distintos modos para cada una de las relaciones origen destino. Las series temporales son anuales (como el resto del ACB) y comienzan varios años antes de que la alta velocidad entre en operación en el origen destino analizado. Partiendo de estos datos de demanda real, el modelo predice la evolución de una demanda específica a partir del año de apertura de la línea de alta velocidad, teniendo en cuenta el crecimiento anual del PIB. Estas previsiones de demanda, especificas por relación y modo, son las demandas contrafactuales.

- **Mecanismos del modelo y características metodológicas relevantes**

Los porcentajes de captación y generación de demanda se calculan comparando el volumen y la evolución de la demanda de pasajeros en alta velocidad con los diferenciales en los otros modos entre demanda real y la prevista en caso de ausencia de la alta velocidad. La fórmula que se aplica a cada modo de transporte en cada relación para cada año desde que se inaugura la alta velocidad es:

% dem. captada del modo X = (dif. demanda de X) / demanda AV)

De este cálculo se obtienen los porcentajes de la distribución de la movilidad en cada relación origen-destino para cada uno de los años desde que se abrió el servicio de alta velocidad hasta el último año con datos (2018). Se calcula a continuación media aritmética de estos porcentajes que posteriormente tiene que ser reajustada para que la suma de medias de todos los modos más la generada sea exactamente 100%. Se imponen ciertas condiciones al modelo para que las estimaciones de porcentajes sean lógicas, como que las medias sean siempre nulas o positivas, pero nunca negativas.

Los datos disponibles permiten estimar la demanda captada del autobús, el ferrocarril convencional y el avión. El remanente de pasajeros de alta velocidad que no es explicado por la caída de la demanda en estos modos de transporte corresponde a los pasajeros captados por la AVF de los vehículos privados (se incluyen aquí además del coche las motocicletas, vehículos recreativos y otros servicios como el car sharing) y de la nueva demanda generada por el proyecto. El modelo de reparto de demanda estima un único porcentaje que incluye a ambos. Partiendo de las estimaciones realizadas por RENFE, se ha considerado que un 25% es demanda generada y el 75% restante proviene del vehículo privado, salvo para algunos orígenes-destinos concretos.

- **Robustez del modelo y notas metodológicas**.

La cantidad de datos disponibles sobre de la evolución de la demanda de viajes en más de 700 relaciones origen-destino ha permitido obtener datos muy precisos que difieren considerablemente con los utilizados en estudios previos (De Rus, 2011; Betancor *et al.* 2015). Estos estudios consideraban únicamente las principales relaciones de cada corredor, y para cada una de ellas, suponían unos porcentajes de demandas captadas e inducidas fijos en función de la existencia o no del modo aéreo en la relación.

Los porcentajes aplicados en el presente trabajo al ser un estudio *ex post*, son fruto de un análisis cuantitativo que se nutre de datos reales. No obstante, es preciso advertir que el modelo pierde precisión en relaciones con poca demanda por varias razones: la dependencia de pocos medios de transporte con demandas más volátiles o del vehículo privado, que no es observable directamente en el marco de este proyecto. No obstante, en las relaciones con una demanda más importante y estable, de las cuales emanan los principales costes y beneficios del análisis, se obtienen resultados robustos y convincentes.

Ejemplo de análisis de la captación de demanda de la relación Madrid-Valencia

RELACIÓN		AÑO AVE	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
31	MADRID-VALENCIA	2011													
AÉREO - PAX	31 - AÉREO - PAX		411.844	438.769	530.445	499.229	507.764	506.130	222.978	129.704	126.051	128.414	146.127	151.912	168.483
	Contrafactual aereo	**Demanda captada Áereo adaptada**	411.844	438.769	530.445	499.229	507.764	463.178	467.902	472.675	477.496	482.367	487.287	492.257	497.278
	% Captada del modo aereo	29,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-4,7%	28,3%	37,0%	35,6%	32,8%	29,3%	27,6%	25,2%
AUTOBÚS - PAX	31 - AUTOBÚS - PAX		340.974	319.216	293.277	254.398	229.011	262.736	241.044	185.571	155.719	143.349	126.723	121.472	117.455
	Contrafactual autobus	**Demanda captada Autobus adaptada**	340.974	319.216	293.277	254.398	229.011	250.654	253.210	255.793	258.402	261.038	263.700	266.390	269.107
	% Captada del autobus	8,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,3%	1,4%	7,6%	10,4%	10,9%	11,8%	11,8%	11,6%
ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA - PAX	31 - ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA - PAX	**Demanda generada y captada del vh**	0	0	0	0	0	920.056	866.340	926.900	986.827	1.080.535	1.165.041	1.232.925	1.303.113
	Demanda generada y captada del vh	20,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	58,7%	19,4%	7,2%	8,1%	14,0%	19,3%	22,9%	27,0%
CONVENCIONAL FERROVIARIO - PAX	31 - CONVENCIONAL FERROVIARIO - PAX		0	0	468.016	434.651	433.162	10.079	8.320	7.457	6.604	5.685	6.480	8.256	7.820
	Contrafactual tren convenciona	**Demanda captada tren convencional adaptada**	0	0	468.016	434.651	433.162	445.276	449.818	454.406	459.041	463.723	468.453	473.232	478.059
	% Captada del tren convencional	41,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	47,3%	51,0%	48,2%	45,8%	42,4%	39,7%	37,7%	36,1%
	Total - PAX (con AV)		752.818	757.985	1.291.738	1.188.278	1.169.937	1.699.001	1.338.682	1.249.632	1.275.201	1.357.983	1.444.371	1.514.565	1.596.871
	Contrafactual Total - PAX (sin AV)		752.818	757.985	1.291.738	1.188.278	1.169.937	1.159.108	1.170.931	1.182.874	1.194.939	1.207.128	1.219.441	1.231.879	1.244.444

- En negro, las series de datos históricos para cada modo de transporte.
- En verde, las series proyectadas para cada modo en la situación sin proyecto (el contrafactual).
- En azul, los diferenciales entre series históricas y proyectadas sobre la demanda de alta velocidad expresados en porcentaje. El promedio de estas series son los porcentajes de captación y el de generación.

3.2.1. Precios sombra

El precio sombra refleja el coste de oportunidad real y tiene como objetivo eliminar las distorsiones del mercado, intentando mostrar la valoración de los bienes y servicios en una situación de eficiencia máxima. Estos precios son los que se deben utilizar en las evaluaciones socioeconómicas. Un mayor detalle se puede consultar en el Anexo 2.

El precio sombra incorporado al ACB ha considerado tres factores de conversión sombra con origen en distintas fuentes.

- *Guía para la evaluación de inversiones de ferrocarril 2018* de Adif.
- *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects* 2014 de la Comisión Europea.
- Estimación propia basada en la metodología utilizada por la guía de Adif e inputs de la Guía de la Comisión Europea.

El principal factor que afecta a la determinación de los precios sombra es el salario sombra que debe usarse en lugar del salario financiero para su estimación. Existen grandes diferencias en las propuestas de salario sombra propuesto por Adif y por la Comisión Europea. Adif estima un factor salario sombra de 0,55 para toda España, mientras que en el manual de la Comisión se presentan valores a nivel regional, existiendo en España 3 valores diferentes: 0,54 en Extremadura y Andalucía, 0,99 en Navarra y País Vasco y 0,8 en el resto de España.

Valores Propuestos Factor Precio Sombra

Fuente	Concepto	Factor Precio Sombra
Comisión Europea	Inversión	0,91
	Operación y mantenimiento	0,88
Adif	Inversión en Infraestructura	0,73
	Costes de Mantenimiento de la Infraestructura	0,73
	Costes Generales y de Estructura	0,88
	Inversión en Material Móvil	0,70
	Costes operación	0,79

Fuente: "Guía para la evaluación de inversiones de ferrocarril 2018" y "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects 2014"

La estimación realizada en el ámbito del proyecto sigue la metodología expuesta en la Guía de Adif, la cual está basada en la Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects 2008. Adif justifica el uso de esta metodología alegando: "*En su versión de 2014 la Guía propone una metodología común para toda la U.E. Ésta, sin embargo, no recoge de forma adecuada la situación de España. Por ello, aquí se opta por el cálculo que se proponía en la anterior GUÍA.*" Para su cálculo, se utiliza 0,8 como factor salario sombra, el cual es el más representativo para la mayoría de provincias de España según la "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects 2014". La fórmula para calcular el factor Precio Sombra es la siguiente:

$$FC_{Precio\ Sombra} = Beneficio\ x\ FC_{Beneficio} + Coste\ Laboral\ x\ FC_{Salario\ Sombra} + Materiales\ y\ otros * FC_{Materiales\ y\ otros}$$

Utilizando los valores expuestos en la tabla siguiente, los cuales se extraen del manual de Adif, el resultado obtenido es un **Factor Precio Sombra de 0,81**.

Valores para el Cálculo de factor precio Sombra

Concepto	Valor
Beneficio	10%
Coste Laboral	31%
Materiales y otros	59%
Factor de Conversión Beneficio	0%
Factor de Conversión Salario Sombra	80%
Factor de Conversión Materiales y otros	95%

Fuente: Elaboración propia a partir de "Guía para la evaluación de inversiones de ferrocarril 2018" y "Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects 2014"

3.2.2. Valoración a € de 2018 y año de descuento.

Los flujos monetarios del análisis de rentabilidad social se han valorado tomando los precios constantes de 2018 como referencia. Para esto ha sido necesario deflactar varias series en valores corrientes. Como deflactares se han utilizado principalmente los deflactores de la Formación Bruta de Capital Fijo para construcción no residencial e ingeniaría civil y para equipo de transporte de AMECO y el IPC general del INE, así como IPCs específicos para algunas partidas de gastos.

Como año de descuento se ha tomado, para cada uno de los 4 corredores analizados, el año en el que se produjo la primera inversión.

3.2.3. Tratamiento de trenes de servicio mixto (Alvia, Altaria, Intercity, Euromed, etc.)

La implementación de la alta velocidad y el progresivo desarrollo de su red ha implicado que muchos núcleos disfrutasen parcialmente de sus beneficios antes de que la red de alta velocidad llegase a conectarlos. Esto es así por los servicios mixtos, identificados sobre todo con los Alvia (pero también incluyendo los Intercity, los Euromed y otros servicios), que circulan por tramos tanto de alta velocidad como convencionales, mejorando sensiblemente los tiempos de los servicios convencionales.

A la hora de realizar los cálculos del análisis, esto se traduce en que formalmente habría que crear al menos un segmento diferenciado, ad hoc, para los servicios mixtos, con un tiempo de viaje especifico por cada relación (o varios si el desarrollo de la red tuvo más de dos fases). La dificultad de estimar estos tiempos ha llevado a considerar dos supuestos:

- Aunque el tratamiento se ha escogido caso por caso, por lo general se ha optado por suponer para los servicios mixtos entre ciudades conectadas por infraestructuras de alta velocidad los mismos tiempos que servicios AVE[1].
- Para las relaciones que solo disponen de servicios mixtos a fecha de diciembre de 2018, se han aplicado los tiempos reales de los servicios mixtos, sin considerar los tiempos futuros que se logren cuando la red de alta velocidad termine de desplegarse. Esto se ha decidido así por la consideración previa de no incluir las inversiones futuras de tramos que están siendo construidos o planificados en la actualidad.

3.3. Inversiones y reposiciones en infraestructura y material rodante

De los cuatro bloques mencionados, este es el que presenta los cálculos más simples ya que el único objetivo es contabilizar correctamente todas las inversiones realizadas y distribuirlas correctamente en cada uno de los corredores y a lo largo de la serie temporal.

Los datos que se han considerado en este apartado son: inversiones en tramos de vías de alta velocidad, expropiaciones, inversión en construcción y mejoras de estaciones, inversión en adquisición de material rodante y en mejoras en trenes adquiridos con anterioridad y reposiciones de

[1] En estos casos las diferencias entre un servicio Alvia y un servicio AVE suele rondar los 10 minutos, por lo que este supuesto supone una ligera ventaja para el escenario "con proyecto"

infraestructuras y material rodante. Como se ha explicado con anterioridad, a todos estos valores se les aplica el precio sombra correspondiente y se estiman los flujos de caja futuros y pasados. A continuación, se presentan los principales supuestos asumidos en este bloque.

3.3.1. Anualización de los datos de ADIF.

Los datos utilizados para la estimación de inversiones en las líneas y estaciones de alta velocidad han sido proporcionados por ADIF. Estos datos presentan la evolución anual de inversiones iniciales, expropiaciones y reposiciones por línea y estación. Dichos datos han requerido la realización de modificaciones en tres casos:

- Inversiones por tramos en la Línea Madrid – Sevilla.
- Expropiaciones por tramos para la Línea Madrid – Sevilla.
- Inversiones en estaciones.

- Inversiones por tramos en la línea Madrid – Sevilla

Los datos para esta línea presentaban el acumulado de las inversiones realizadas entre el periodo 1987-2004 por tramo, en lugar de su evolución anual. Para estimar la anualización de los datos entre estos dos años, se consideraron dos periodos diferentes:

- 1987-1993: Construcción de la línea.
- 1992-2004: Explotación de la línea.

Para el periodo 1994 -2004, la metodología para la anualización ha sido la siguiente: considerar la inversión realizada en el periodo 1994-2004 como proporcional a las inversiones realizadas entre 2005 y 2009, estimando la media anual en euros constantes y extrapolando hasta el año 1994.

Una vez estimados las inversiones entre 1994 y 2004, se sustrae su valor del acumulado que proporciona ADIF para el periodo 1987-2004. La inversión sobrante se anualiza en el periodo 1987-1993 de manera similar a la distribución porcentual realizada en "Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España", Revista de Economía Aplicada, no. 3 (vol. I), 1993, pp. 27–48.

Para el periodo 2005-2018, se utilizan directamente los datos proporcionados por ADIF.

- **Expropiaciones por tramos en la línea Madrid Puerta de Atocha- Sevilla Santa Justa**

Análogamente a las inversiones, los datos para esta línea presentaban el acumulado de las expropiaciones realizadas en vez de su distribución anual. Para anualizar las expropiaciones se considera que estas son realizadas

únicamente durante su periodo de construcción (1987-1993), y se distribuyen uniformemente entre dichos años.

- **Inversiones en estaciones.**

Los datos proporcionados por ADIF para las inversiones en estaciones comienzan en 2004, a pesar de haber estaciones cuyas líneas de alta velocidad entraron en servicio antes de dicho año. Para estos casos, se ha considerado que el valor proporcionado para 2004 se corresponde con la inversión durante su año de puesta en servicio en la red de alta velocidad.

3.3.2. Distribución de material rodante por corredores

Para la distribución de inversiones en material rodante, gastos de renovación y mantenimiento del mismo, se utilizan los datos proporcionados por RENFE. Estos datos dividen la inversión anual por tipo de tren, siendo imposible por tanto asignar directamente los valores de inversión, mejora y mantenimiento a cada uno de los corredores de alta velocidad considerados en este análisis. En el caso de las inversiones, los datos son presentados para el periodo 1999-2018, siendo el dato de 1999 el acumulado hasta esa fecha. Para el caso de los trenes de series 100 y 101, utilizados inicialmente en la relación Madrid Sevilla, se ha trasladado su valor acumulado de 1999 a 1992. Los datos relativos a los gastos de renovación y mantenimiento, así como las inversiones en el resto de series no han requerido ningún tipo de modificación.

A la hora de realizar la distribución de los datos de inversiones y renovación del material rodante por corredor, se ha optado por dividir los costes de manera proporcional a los km-tren y a las circulaciones de cada corredor. Para ello, se ha calculado un indicador mixto que tiene en cuenta ambas variables, para cada año y para cada corredor y el total, teniendo así unos porcentajes anuales de demanda de material rodante asociados a cada corredor. La inversión, las mejoras y el mantenimiento se han repartido entre corredores en la misma proporción.

3.3.3. Reposiciones y valor residual de la infraestructura y el material rodante de alta velocidad.

Para el cálculo de las reposiciones, tanto en infraestructura como en estaciones, se desarrolla una herramienta que analiza cada tramo y estación de manera independiente teniendo en cuanta las siguientes consideraciones.

La inversión realizada por tramo se distribuye entre diferentes elementos (superestructura, electrificación, instalaciones de seguridad, etc.) con el

objetivo de calcular de manera más precisa las reinversiones a efectuar. La vida útil y la distribución porcentual de cada elemento de los tramos se estiman a partir de la *Guía de Adif para la Evaluación de Inversiones de Ferrocarril* 2018 y de diversos estudios de rentabilidad elaborados por Adif para varios tramos de alta velocidad. Los datos utilizados en la herramienta se presentan en la tabla siguiente:

CUADRO 1. ELEMENTOS, VIDA ÚTIL Y DISTRIBUCIÓN DE LOS TRAMOS PARA EL CÁLCULO DE LAS REPOSICIONES

Elemento	Vida útil (años)	Peso del elemento en el total
INFRAESTRUCTURA	**75**	**67%**
Movimiento de Tierras	75	70%
Otros	30	30%
SUPERESTRUCTURA	**30**	**17%**
ELECTRIFICACIÓN	**50**	**6%**
INST. SEGURIDAD	**30**	**10%**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Adif.

Las estaciones y expropiaciones son tratadas de manera independiente. Para las primeras se considera una vida útil de 50 años. Para las segundas se considera que no se amortizan, por lo que el valor residual será igual a la inversión realizada.

Se considera que las reposiciones se realizan en el año en que finaliza la vida útil del elemento a sustituir, tomando como referencia el año en que entró en servicio el tramo al que pertenece. La reinversión aplicada es del mismo importe que la inversión inicial para cada elemento. Si requiere de más de una reposición en el periodo de estudio, también se aplica el mismo importe que en la inversión inicial.

Finalmente, el valor residual se estima calculando primero la parte de la inversión amortizada, teniendo en cuenta el año de apertura del tramo, la vida útil del elemento y el año en el que corresponde liquidar cada elemento (en la fórmula debajo, año valor residual). Una vez estimada la amortización, se sustrae su valor de la suma de la inversión inicial y las reposiciones realizadas.

$$Inversión\ Amortizada = \frac{Año\ Valor\ Residual - Año\ Puesta\ Servicio}{Vida\ Útil}\ x\ Inversión\ Inicial$$

$$Valor\ Residual = (Inversión\ Inicial + Reposiciones) - Inversión\ Amortizada$$

Una vez se obtienen los datos del valor residual y reposiciones para los tramos, estaciones y expropiaciones, se trasladan al modelo en los años correspondientes.

En cuanto a las reposiciones de material rodante, se ha establecido una vida útil de 25 años para los trenes tal y como expone la *Guía de Análisis coste beneficio* de ADIF. Por tanto, en el año 25 de operación se supone una reinversión de material rodante igual a la inversión inicial.

3.3.4. Adquisición de material rodante adicional para satisfacer la demanda creciente

Además del reparto del material rodante y sus reposiciones a lo largo del horizonte de evaluación, es necesario suponer compras adicionales de material rodante para satisfacer la demanda creciente. Desafortunadamente la información a este respecto es prácticamente inexistente por lo que se han establecido los siguientes supuestos:

Partiendo del supuesto de que la ocupación a futuro será similar a la del 2018 y que, por tanto, la demanda adicional a futuro requerirá nuevos vehículos, se han incluido incrementos en la inversión acumulada en material rodante proporcionales a los incrementos en la demanda. Sin embargo, parte de esta demanda adicional puede ser cubierta por frecuencias adicionales de trenes previamente adquiridos por lo que se ha aplicado un factor de corrección de 0,5 quedando la fórmula:

*Inversión adicional = Inversión acumulada en MR * ΔViajeros * ½*

3.3.5. Inversiones posteriores a la puesta en operación de la línea

Analizando los datos de inversiones suministrados por ADIF, se ha encontrado un patrón que se repite en la mayoría de las líneas. El comienzo de operaciones en una línea no significa el final de las inversiones en la infraestructura, si no que suelen quedar algunos trabajos menores a realizar que requieren una inversión adicional. Comparando datos de distintas líneas finalizadas hace varios años se ha determinado que, de media, la inversión total se mantiene en los años posteriores a la puesta en operación los siguientes porcentajes en función del inicio de esa fecha:

Inicio + 1 año	5 %

Inicio + 2 años	2,5 %
Inicio + 3 años	1,5 %
Inicio + 4 años	1,25 %
Inicio + 5 años	1,25 %
Inicio + 6 años	0,33 %
Inicio + 7 años	0,33 %
Inicio + 8 años	0,33 %
Total	12,5 %

Estos porcentajes suman una parte relativamente pequeña del total (12,5 %) y son decrecientes desde el inicio de operaciones. Han sido aplicados a las líneas que se han inaugurado entre 2011 y 2018, para contabilizar correctamente los costes de inversión posteriores a la puesta en funcionamiento de la línea.

3.4. Costes operativos incurridos y evitados

Dentro de este bloque existen tres grupos de información claramente diferenciados: información de costes operacionales y mantenimiento de la infraestructura de alta velocidad, costes operacionales para la puesta en funcionamiento de los servicios de alta velocidad por parte del operador ferroviario y costes operacionales evitados en cada uno de los modos alternativos a la alta velocidad.

- Costes operativos y de mantenimiento de la infraestructura de alta velocidad. Se introducen los datos recogidos aplicando el precio sombra. Estos costes se calculan distinguiendo entre:
    - Costes operativos de los tramos de línea.
    - Costes operativos de las estaciones.
- Costes operativos de los servicios de alta velocidad. Se introducen los datos recogidos aplicando el precio sombra. Estos costes se calculan distinguiendo entre:
    - Costes fijos de la operación.
    - Costes variables de la operación.
        - De los cuales, se descuenta el canon de la infraestructura por ser una transferencia a ADIF.

- Costes operacionales evitados en los modos alternativos a la AV. La fórmula para estos beneficios es similar para todos los modos:
    - El tren convencional.

- El vehículo privado.
- El avión.
- El autobús.

$$\Delta C^m = (c^m) * \Delta X_d$$

C hace referencia a costes operacionales, c es el parámetro de coste utilizado, m indica el modo de transporte y X_d hace referencia al diferencial de demanda en el modo en cuestión.

En el primer grupo de datos, la metodología aplicada es muy similar a la descrita en el epígrafe anterior. Ya que en el contrafactual (escenario sin proyecto) no existirían estos costes, el diferencial entre ambos escenarios es, por tanto, igual al total de costes incurridos por Adif en servicios de alta velocidad y el mantenimiento de la infraestructura. Una vez recopilada toda la información, se transforma a euros de 2018, se proyecta hasta el horizonte de evaluación y se le aplica el precio sombra correspondiente. De igual modo se prosigue con los costes operativos de Renfe.

En último lugar, se estiman los ahorros en costes operacionales de los modos alternativos a la alta velocidad en función de las caídas de demanda. Este grupo de costes sigue la metodología más propia de los análisis coste beneficio ex-ante. Estimada la oferta de servicios de cada modo de transporte en los escenarios con y sin proyecto, se multiplica la oferta total en cada escenario por los costes marginales. El diferencial de ambos, aplicado el precio sombra, es igual al coste operacional evitado en cada uno de los modos alternativos a la alta velocidad.

A continuación, se presentan los principales supuestos asumidos en este bloque.

3.4.1. Costes operacionales por modos

Uno de los principales beneficios directos de la alta velocidad son los ahorros en costes operacionales en los modos de transporte alternativos a la alta velocidad. Para hacer este cálculo, como se ha explicado anteriormente, se ha estimado la reducción de vehículos-km propiciada por la alta velocidad y se ha multiplicado por el parámetro de coste marginal previamente calculado.

En el caso del vehículo privado y el autobús se han utilizado los datos de costes marginales publicados en el OTLE y se han actualizado a euros de 2018 con los valores del IPC para cada uno de los componentes de gasto correspondientes.

Para el modo aéreo se utiliza el promedio de los parámetros de costes de los modelos Boeing 737 NG, Airbus A320 Family y Boeing 737 Classic facilitados en el informe *Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analysis.*

Para el tren convencional se ha utilizado el dato del Manual de Análisis coste beneficio de ADIF.

En la tabla siguiente se presentan los parámetros utilizados:

CUADRO 2. COSTES OPERATIVOS MARGIANLES POR MODO DE TRANSPORTE

Modo de transporte	€ 2018
Autobús (€ por vkm)	1,41
Vehículo privado (€ por vkm)	0,21
Avión (€ por hora de vuelo)	3.455
Ferrocarril convencional (€ por vkm)	5,36

Fuente: Otle, Guia ACB ADIF y "*Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analyses*"

En todos los casos se han utilizado costes sin IVA ni otro tipo de impuestos a los carburantes.

3.4.2. Crecimiento de los costes operacionales a futuro de ADIF y RENFE

En el caso de la alta velocidad, como coste del proyecto, se han utilizado los valores de costes operacionales facilitados por ADIF y Renfe. Para su proyección a futuro se han utilizado los siguientes supuestos:

- Todos los costes evolucionan siguiendo una proyección lineal de los últimos años observados para el periodo 2019-2023.
- Del año 2023 en adelante los costes crecen de la siguiente manera:
    - Los costes operativos de ADIF evolucionan al mismo ritmo que el PIB per cápita (estimaciones del FMI) en términos constantes.
    - Los costes fijos de ADIF se mantienen constantes en el valor del 2023.
    - Los costes variables de Renfe crecen al 75% del crecimiento estipulado para el crecimiento de los tráficos de alta velocidad. Esta decisión se ha tomado para establecer ciertas economías de escala para el operador ferroviario según aumenta el número total de pasajeros transportados.

3.4.3. Desgaste de infraestructuras por uso en modos alternativos a la alta velocidad

Además de los costes operacionales directos, para cada uno de los modos alternativos a la alta velocidad se han tenido en cuenta los ahorros derivados del menor desgaste de la infraestructura debido al descenso de los tráficos

como consecuencia de la alta velocidad. Para ello se han utilizado los costes marginales recogidos en el *Overview of transport infrastructure expenditures and costs* de la Comisión Europea. Este informe presenta costes marginales por desgaste de la infraestructura para cada uno de los modos. Se presentan a continuación los valores para España en € de 2016 como se presentan el informe y transformados a euros de 2018 para los cálculos de este análisis coste beneficio.

CUADRO 3. COSTES MARGINALES POR DESGASTE DE LA INFRAESTRCUTURA

Modo de transporte	€ 2016	€ 2018
Autobús (€ por vkm)	0,16	0,17
Vehículo privado (€ por vkm)	0,00	0,00
Avión (€ por vuelo)	1.015	1.052
Ferrocarril convencional (€ por vkm)	0,58	0,60

Fuente: "*Overview of transport infrastructure expenditures and costs*"

En el caso de la alta velocidad, en lugar de utilizar un parámetro de coste marginal, se han estimado las reposiciones necesarias en función de los costes de inversión facilitados por ADIF tal y como se ha descrito en el apartado 3.3.3.

3.5. Costes externos incurridos y evitados

De forma similar a lo descrito en el epígrafe anterior para costes operacionales, la Comisión Europea ofrece en su manual de costes externos del transporte valores de externalidades marginales para cada uno de los modos de transporte.

A partir de esta información, y con las estimaciones de demanda en los escenarios con y sin proyecto, es posible estimar el diferencial de costes externos. Este resultado será igual a las externalidades evitadas gracias al proyecto con fórmulas similares para cada uno de los modos:

- El tren convencional.
- El vehículo privado.
- El avión.
- El autobús.

$$\Delta Ext^m = (Ext^m) * X_d^m$$

Ext hace referencia a costes externos, m indica el modo de transporte y X_d hace referencia al diferencial de demanda en el modo en cuestión

Finalmente, hay que tener en cuenta además las externalidades incurridas por la alta velocidad que, si bien siguen la misma metodología de cálculo, son costes para el proyecto en lugar de beneficios

$$\Delta Ext^{AV} = (Ext^{AV}) * X_d^{AV}$$

Ext hace referencia a costes externos, AV indica que se trata del modo alta velocidad y X_d hace referencia al diferencial de demanda en el modo en cuestión

Para el cálculo de externalidades se han tomado los valores de referencia publicados en el *Handbook on the external costs of transport*, versión de 2019. La siguiente tabla resume los valores utilizados en este análisis:

CUADRO 4. COSTES EXTERNOS (CÉNTIMOS DE € DE 2018) POR PASAJERO-KM

Concepto	Carretera			FFCC.		Avión
	Automóvil	Moto	Autobús[2]	alta velocidad	Convencional Electrificado	
Accidentes	4,34	9,55	0,87	0,05	0,38	0,01
Contaminación atmosférica	0,68	0,85	0,36	0,00	0,01	0,13
Cambio Climático	1,24	0,96	0,42	0,00	0,00	1,91
Ruido	1,03	11,56	0,33	0,06	0,27	0,12
Congestión[3]	1,42	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Producción de energía	0,32	0,37	0,12	0,28	0,78	0,73
Daño al hábitat	-	-	-	-	-	-
Coste marginal por pkm	**9,03**	**23,29**	**2,21**	**0,39**	**1,45**	**2,90**

Fuente: "*Handbook on the external costs of transport*" y elabortación propia

Tal y como establece el manual, el coste marginal del daño al hábitat es cero debido a que el total de costes externos asociados a este concepto se producen por la construcción de la infraestructura y no aumentan por un uso más intensivo de la misma. Por ello, no se tienen en cuenta ahorros por el descenso de la demanda en los modos alternativos en la alta velocidad. Para la alta velocidad tampoco se contabilizan estos en función del uso de la

[2] Se toman los valores para el autobús de trayectos interurbanos de largo recorrido, en inglés "*coach*".

[3] En el caso de la carretera se toma el dato estimado para congestión en vías interurbanas.

infraestructura, se calculan estos costes en función de los kilómetros de AV construidos tal y como establece el manual (67.589€ de 2018 por kilómetro construido y año).

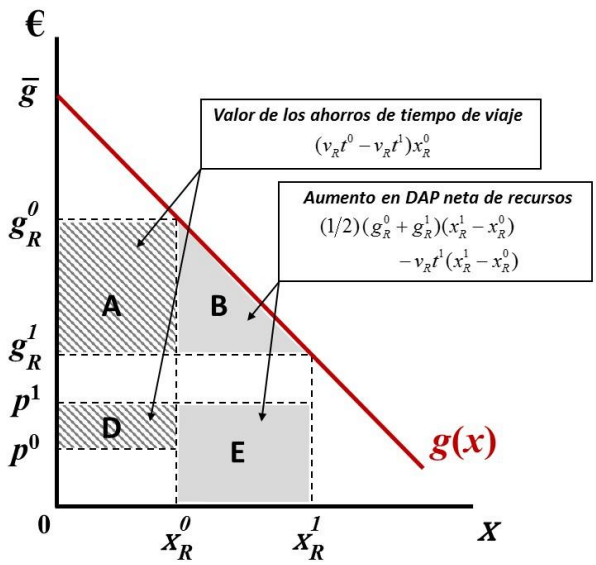
3.6. Ahorros de tiempo de la demanda captada y beneficios del tráfico generado

Dentro de este bloque existen tres tipos de beneficios, que resultan derivados de la demanda generada, los derivados del tren convencional, y los derivados del resto de modos. La diferencia radica en que, dependiendo del modo en la situación "sin proyecto", el beneficio debe de ser contabilizado de una determinada manera.

AHORROS DE TIEMPO Y BENEFICIOS DERIVADOS DE LA DEMANDA GENERADA

La demanda generada es una demanda que solo está dispuesta a viajar porque hay una reducción de coste generalizado (Δ g) en la situación "con proyecto". En una demostración gráfica como la que se incluye a continuación se puede apreciar que el primer viajero generado disfrutara de toda la reducción de coste generalizado pero el ultimo quedara indiferente entre no viajar y viajar en alta velocidad. Esto se modeliza calculando el aumento de bienestar de la demanda generada como el área B.

GRÁFICO 2. CALCULO DEL INCREMENTO EN EL BIENESTAR SOCIAL EN LA DEMANDA EXISTENTE Y LA GENERADA EN FFCC



Fuente: Análisis coste-beneficio de proyectos ferroviarios De Rus et al (2020).

El beneficio medio por viajero generado se calcula con un promedio de los ahorros en coste generalizado de la AV sobre el siguiente modo con menor coste generalizado en cada una de las rutas analizadas (lo que supone construir un g_0 representativo). De este modo, la formula aplicada para el cálculo de beneficios para la demanda generada es la siguiente:

$$\Delta W\ Usuario^{gen} = (½ * (g_0 - g_1) * X^{gen}\ (1)$$

W hace referencia al excedente del consumidor generado, la g hace referencia al coste generalizado y la X^{gen} hace referencia a la demanda generada que se ha estimado para cada uno de los O-D y equivale a x_1-x_0

Por otra parte, puesto que para la elaboración de los cálculos se ha contado con datos de ingresos de RENFE y ADIF, ha sido posible estimar de forma precisa el total de ingresos imputables a la demanda generada (Área E) siguiendo la siguiente fórmula:

$$\Delta W\ Productor^{gen} = \%demanda\ captada * ingresos\ (2)$$

La suma de las fórmulas anteriores será igual al aumento de la disposición al pago atribuible a la demanda generada tal y como queda expuesto en el gráfico anterior.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los costes totales asociados a la AVF han sido contabilizados previamente. En cuanto a ahorros de costes en otros sectores, al considerarlos competitivos, no es necesario sumarlos como beneficios de la alta velocidad puesto que el ahorro en costes es igual a los ingresos que dejan de percibirse.

- **Ahorros de tiempo y beneficios derivados del tren convencional**

Siguiendo la metodología desarrollada en el Anexo 3, los beneficios para la demanda captada del tren convencional se han calculado como el total de ahorros de tiempo de los pasajeros que dejaron de utilizar servicios convencionales para utilizar la AVF. Esto es así por considerar que la alta velocidad y el tren convencional se comportan como un mismo modo en este aspecto (lo que se fundamenta en el uso de los mismos nodos). Los ahorros de tiempo y, por consiguiente, los incrementos de utilidad derivados del tren convencional corresponden a la suma de las áreas A y D del gráfico anterior ya que Δ ahorros de tiempo * valor del tiempo = Δ coste generalizado + Δ precios como se demuestra en el documento metodológico.

Por tanto, la formula aplicada de cálculo de beneficios queda de la siguiente forma:

$$\Delta W^{conv} = \Delta t^{conv} * X_d^{conv}$$

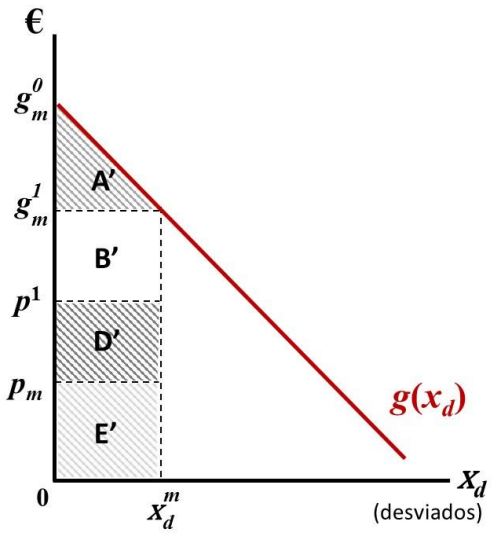
La W corresponde a los ahorros de tiempo de viaje y representa el beneficio derivado de la demanda proveniente del tren convencional. La Δt es la reducción de tiempo de viaje multiplicado por el valor del tiempo, mientras que la X^{conv} es la demanda proveniente del tren convencional.

Al igual que para la demanda generada, los costes asociados a la alta velocidad ya han sido contabilizados previamente. Por su parte, los ahorros en los recursos del tren convencional han sido calculados y computados previamente tal y como se expone en el epígrafe 3.4.

- **Ahorros de tiempo y beneficios derivados de otros modos**

Por el contrario, cuando la demanda es captada de otro modo, los ahorros de tiempo por sí solos no representan fielmente los beneficios derivados de la captación de viajeros de estos modos.

GRÁFICO 3. CALCULO DEL INCREMENTO EN EL BIENESTAR SOCIAL EN LA DEMANDA CAPTADA



Fuente: Análisis coste-beneficio de proyectos ferroviarios. De Rus et al (2020).

El beneficio neto asociado a la línea de alta velocidad resulta 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'). Se considera 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') y de los recursos que ahorra el operador de este modo (área E'). Puesto que, como ya se ha comentado con anterioridad, los recursos que ahorran los operadores del modo alternativo (área E') ya han sido calculados como se describe en el

epígrafe 3.4, la fórmula para calcular el área de A' + D' quedaría de la siguiente manera.

$$\Delta W^{cap} = (½ * \Delta G * X^{cap}) + (\Delta P * X^{cap}) \ (3)$$

Descomponiendo el cambio en coste generalizado en ahorros de tiempo de viaje * valor del tiempo - aumento precios[4] obtenemos:

$$\Delta W^{cap} = (½ * (\Delta t - \Delta P) * X^{cap}) + (\Delta P * X^{cap}) \ (4)$$

Finalmente, se puede simplificar en:

$$\Delta W^{cap} = ½ * (\Delta t + \Delta P) * X^{cap} \ (5)$$

W representa el beneficio por ahorros de tiempo. La Δt hace referencia a la reducción de tiempos multiplicado por el valor del tiempo con respecto al modo contrafactual, ΔG representa la disminución en coste generalizado mientras que ΔP representa el aumento de precios de la AV con respecto al modo contrafactual. La X^{cap} es la demanda proveniente del modo de transporte contrafactual.

Esta última formula es la que se ha aplicado para el cálculo de los beneficios derivados de los ahorros de tiempo (áreas A' + D') en las demandas captadas del avión, el vehículo privado y el autobús. De este modo, las formulas por modos quedan de la siguiente forma:

- El vehículo privado.

$$\Delta W^{cap\ vp} = ½ * (\Delta t^{vp} + \Delta P^{vp}) * X_d^{vp}$$

- El avión.

$$\Delta W^{cap\ avion} = ½ * (\Delta t^{avion} + \Delta P^{avion}) * X_d^{avion}$$

- El autobús.

$$\Delta W^{cap\ bus} = ½ * (\Delta t^{bus} + \Delta P^{bus}) * X_d^{bus}$$

Los ahorros en los recursos de cada uno de los modos alternativos (área E') han sido calculados previamente tal y como se expone en el epígrafe 3.4.

3.6.1. Precios observados e inferidos por modo.

Los precios de los distintos modos de transporte son requeridos en varios cálculos del análisis coste beneficio. Aunque los precios pueden ser bastante cambiantes, se tomado los valores medios anuales más precisos y representativos con la metodología aquí descrita. Para tomar los precios

[4] El signo de estas variables en la fórmula es relevante. Hace referencia a ahorros de tiempo (positivo) y aumentos en precio (negativo). En caso de observar aumentos en tiempo de viaje habría que considerarlo como un ahorro negativo; y en caso de observar reducciones de precio como un aumento negativo.

observados se han consultado páginas web de comparación de precios de vuelos (Skyscanner y Google Flights), autobús (Omio y Check my Bus) y la web de Renfe.

- **Modo aéreo.**

Para las relaciones con vuelos disponibles se ha hecho el promedio de seis valores, que son el mínimo, la mediana y el máximo de un día entre semana (preferiblemente el miércoles) y los mismos valores para otro en fin de semana (preferiblemente el sábado), observados con tres semanas de antelación.

- **Alta velocidad, tren convencional y autobús.**

Para estos tres modos se han tomado los valores medianos observados en fin de semana (preferiblemente en sábado) con tres semanas de antelación, y se he hecho una estimación del precio para todas las relaciones del corredor mediante una regresión lineal, usando como variables explicativas distintos términos en función de la distancia por carretera (se ha usado la misma distancia y un término cuadrático cuando este mejoraba la explicatividad del modelo) y escogiendo la estimación de la regresión que más se ajustase.

Por otro lado, se han tomado los ingresos operativos de cada modo en cada relación (cuando se disponía del dato) y se han dividido por la demanda asociada. Se ha corregido incluyendo el IVA.

De esto modo se ha dispuesto para cada relación de hasta tres estimaciones del precio medio. En caso de estar disponible, se ha dado prioridad al precio medio estimado con ingresos y demanda. Si no estaba disponible se ha tomado el precio observado en la búsqueda web. A falta de ambas estimaciones, se ha recurrido a la estimación hecha con regresión, que proporciona valores para todas las relaciones.

- **Vehículo privado.**

Para el vehículo privado se ha realizado una única estimación consistente en multiplicar el valor de referencia del coste operativo del automóvil por la distancia en carretera y ajustando con la ocupación media estimada por el Ministerio de Fomento.

- **Valor del tiempo**

Partiendo de la metodología de cálculo del valor del tiempo explicada en el anexo 1 capítulo 9, para calcular el valor de los ahorros de tiempo de viaje se parte de los datos proporcionados por el proyecto HEATCO (2006) por modos de transporte y motivo de viaje para España. Dado que los cálculos están expresados en euros del año 2002 es necesario actualizarlos a valores a euros de 2018. A pesar de que se dispone de una amplia literatura académica al respecto, no existe un consenso sobre cómo varía el valor del tiempo a lo largo del tiempo. Si bien, por un lado, el aumento de renta se debería trasladar al valor del tiempo, por el otro las menores restricciones en el uso del tiempo sugieren que esta traslación no es unitaria. En este estudio se ha elegido un valor de la elasticidad del valor del tiempo con respecto a la renta igual a 0,7. Este es un valor frecuentemente usado en la literatura y que se halla en un punto intermedio del rango de valores estimados dentro del Manual ACB de la Comisión Europea.

Para actualizar los valores, primero se han transformado los datos de 2002 a euros de 2018 según el IPC y, posteriormente, se han modificado de acuerdo con la variación de la renta per cápita real multiplicada por 0,7. Finalmente, para valores más allá de 2018 en los que se desconoce la variación de la renta per cápita, se han utilizado las estimaciones del FMI del PIB per cápita en términos constantes y se ha multiplicado por 0,7. Para años más allá del 2025 para los que no existen estimaciones de PIB per cápita se ha utilizado la tasa de crecimiento estimada para el año 2025. A continuación, se muestran los valores de partida utilizados para el estudio en el año 2002 y € de 2002.

CUADRO 5. VALORES DEL TIEMPO DE PARTIDA. AÑO 2002 Y € DE 2002

Valor del tiempo en el año 2002	Avión		Coche / Tren Convencional		Autobús	
	Negocio	Otros Motivos	Negocio	Otros Motivos	Negocio	Otros Motivos
Euros 2002	30,77	16,3	22,34	10,9	17,93	7,9

Fuente: HEATCO 2006 y AMECO.

Para ponderar según el motivo de viaje se han tomado de la última encuesta MOVILIA disponible (2007). Según esta encuesta, para todos los modos, un 9,5% de los viajes interurbanos corresponden a motivo negocio y el resto a otros motivos. Este reparto se ha contrastado con los datos de la Encuesta de Turismo de Residentes (ETR, 2015) que ofrece un porcentaje del 9,1% para los

viajes de negocio. La siguiente tabla muestra la distribución de los viajes según motivo desagregado por modos de transporte.

CUADRO 6. DISTRIBUCIÓN DE LOS VIAJES INTERURBANOS SEGÚN MOTIVO DE VIAJE

Motivo del viaje	Coche	Avión	Tren Convencional	Autobús
Negocio	9,5%	16,9%	11,3%	4,5%
Otros motivos	90,5%	83,1%	88,7%	95,5%

Fuente: MOVILIA 2007

Finalmente, para hallar un valor promedio dentro de cada corredor, se han ponderado los valores del tiempo según el peso de cada modo de transporte. Para ello se han utilizado los datos de reparto modal en cada uno de los corredores facilitados por RENFE. Este dato de valor del tiempo promedio es el que se ha utilizado para estimar la ganancia marginal de la demanda generada, es decir, el usuario que ante la ausencia de AVF no viajaría, pero sí lo hace en AVF. A continuación, se muestra el valor promedio utilizado en cada uno de los corredores.

CUADRO 7. VALOR DEL TIEMPO PROMEDIO EN CADA CORREDOR

Valor del tiempo 2018	Norte	Sur	Levante	Nordeste
Euros 2018	17,46 €	22,49 €	19,94 €	23,33 €

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se ha tenido en cuenta que el valor del tiempo no es el mismo para el tiempo de acceso o dispersión de la estación, el tiempo de espera en la estación o el tiempo de viaje dentro del vehículo. Existe una muy amplia literatura que aproxima la relación entre los distintos valores del tiempo de viaje. En esta evaluación se han tomado los valores que resultan del meta-análisis llevado a cabo por Abrantes y Wardman (2011). En concreto, el valor del tiempo de espera se ha establecido como 1,38 veces el valor del tiempo en vehículo y el valor acceso/dispersión como el mismo valor que el tiempo en el vehículo.

En definitiva, los valores utilizados para las demandas captadas por la alta velocidad para cada uno de los modos son los que se muestran en la tabla a continuación y para las demandas generadas las expuestas en la tabla anterior actualizadas año a año con el crecimiento de la renta real per cápita y el PIB per cápita constante como se ha descrito anteriormente.

CUADRO 8. VALOR DEL TIEMPO EN 2018 UTILIZADO PARA EL ESTUDIO, € DE 2018

Actividad	Coche	Avión	Tren Convencional	Autobús
Viaje y acceso	16,58 €	29,35 €	16,86 €	11,55 €
Espera	22,88 €	40,50 €	23,27 €	15,94 €

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Tiempos de viaje

Para el cálculo de los tiempos de viaje entre cada uno de los pares origen-destino y cada uno de los modos se ha recurrido, principalmente a webs de búsqueda o compra de billetes (Renfe, Google Maps, Google Flights, CheckMyBus, Skyscanner, etc.)

En el caso de tren convencional, en el que con la puesta en servicio de servicios de alta velocidad los servicios convencionales se han extinguido u hoy en día son servicios regionales más que de larga distancia convencional, no es posible obtener los tiempos de viaje que observaríamos en caso de que no se hubiera construido la alta velocidad. Para ello se ha utilizado como fuente principal el documento "El tiempo del tren: las velocidades comerciales en las líneas españolas desde sus orígenes hasta la actualidad" de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

3.6.3. Tiempos de acceso, egreso y espera

Para los tiempos de acceso y egreso en los distintos modos se han distinguido los nodos por el tamaño de su área metropolitana, categorizando en grandes, medianos y pequeños. A los nodos con mayores áreas se les ha dado un tiempo de acceso y egreso mayor. Esto no debe entenderse como que necesariamente atiendan un área mayor, sino que, al tener ámbitos más poblados y más problemas de congestión, requiere más tiempo acceder o abandonar los nodos.

Dependiendo de estas categorías se han asignado tiempos de acceso y egreso comprendidos entre los 10 y los 30 minutos para las estaciones de ferrocarril y autobús, y entre 25 y 40 minutos para los aeropuertos. Los tiempos de espera también se han establecido siguiendo unas pautas similares, penalizando especialmente a los aeropuertos. Puntualmente se ha matizado algún tiempo tras consultar Google Maps.

Para el vehículo privado se considera que no hay tiempos de acceso ni egreso, ni tampoco de espera.

4. CONSIDERACIONES SOBRE LA EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

Como se ha explicado en el capítulo anterior, al no tratarse de un análisis ex–post puro, ya que las líneas de alta velocidad siguen reportando costes y beneficios hoy en día, es necesario hacer previsiones y estimaciones de inversiones y demanda a futuro. En cuanto a **inversiones**, se ha optado por estudiar únicamente las líneas en operación en diciembre de 2018, es decir, no se han tenido en cuenta los costes y beneficios potenciales de las líneas en construcción y planificadas en esa fecha. Por otra parte, en cuanto al **crecimiento de la demanda** de alta velocidad, se ha supuesto una proyección lineal en el periodo 2019-2023 a lo observado en los 4 años anteriores y una tasa de crecimiento interanual del 2,5% de 2024 en adelante (manteniendo los porcentajes de captados de cada modo y generados constantes a lo largo de la serie).

La **tasa social de descuento** es otro de los parámetros más influyentes en el resultado final de cualquier análisis coste beneficio. En este análisis se ha optado por utilizar una tasa de un 3%, tasa dentro de los valores recomendados en la guía ACB de la Comisión Europea.

Por otra parte, como ya se ha comentado anteriormente, en este estudio se barajan tres posibles **precios sombra**. Como escenario base se establece el precio sombra que se ha calculado específicamente para este análisis. Si bien, en el próximo capítulo se analiza cómo varían los resultados en función de variaciones en el precio sombra.

Adicionalmente, se han considerado dos **horizontes de evaluación (o periodos de referencia)** para realizar el análisis. El horizonte de evaluación establece la fecha en la que dejan de contabilizarse los costes y beneficios y se computa el valor residual de los activos. La Comisión Europea recomienda un periodo de evaluación de 30 años para proyectos ferroviarios. Sin embargo, para este estudio en concreto se ha decidido utilizar como escenario base un periodo de evaluación de 50 años para las líneas de alta velocidad.

El principal motivo de esta decisión es la experiencia vivida en la LAV Madrid-Sevilla. Esta línea lleva 28 años de operación en el momento de redacción de este informe y, dada la cantidad de fondos empleados en el

mantenimiento de la infraestructura, se encuentra en muy buen estado y se espera que se mantenga en operación un periodo muy superior a 30 años. Todos los cálculos de reposiciones y valores residuales se han adaptado a este supuesto como se expone en el epígrafe 3.3.3.

En relación con las **fechas de inicio de operación** de los distintos tramos dentro de un corredor difieren por su progresiva expansión, se ha optado por realizar la evaluación en un horizonte temporal común. Para ello, se ha considerado el periodo de operación de 50 años a partir de la apertura de la última línea con un número significativo de viajeros, sin que esto signifique que se descuente respecto a otro año que no sea el de inicio de la operación del primer tramo, ni que no se contabilicen los costes y los beneficios entre ambos periodos. De este modo, los horizontes temporales de evaluación para cada uno de los corredores se han establecido de la siguiente manera:

- Corredor sur: año 2008, coincidiendo con el año del tramo Antequera-Málaga, y hasta el año 2057
- Corredor nordeste: año 2013, coincidiendo con la apertura del tramo Barcelona-Figueres, y hasta el año 2062
- Corredor levante: año 2013 coincidiendo con la apertura del tramo Albacete-Alicante, y hasta el año 2062
- Corredor norte: año 2016 coincidiendo con la apertura de los tramos Olmedo-Zamora y Valladolid León, y hasta el año 2065

Finalmente, los resultados de un análisis coste beneficio se expresan como los resultados de los **indicadores de desempeño socioeconómico**. El análisis coste beneficio se basa en un conjunto de objetivos predeterminados del proyecto, dando un valor monetario a todos los efectos de bienestar positivos (beneficios) y negativos (costes) de la intervención. Estos valores se descuentan y luego se suman para calcular un beneficio total neto. Los dos principales indicadores son:

- **Valor Actual Neto (VAN)**: es el cálculo que permite obtener el valor presente (o a una determinada fecha seleccionada) de unos flujos de caja futuros y una inversión. El resultado es un valor monetario resultado del proyecto a fecha de inicio del proyecto.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**: mide la rentabilidad, en términos porcentuales, de una inversión. En otras palabras, es la tasa de descuento que haría el VAN=0. Su principal ventaja es que permite comparar de manera directa diversos proyectos de inversión y sus cálculos no varían ante diferentes tasas de descuento.

Adicionalmente se utilizan con frecuencia dos indicadores adicionales:

- **Relación Beneficio/Coste (B/C)**: Ratio entre los beneficios y costes descontados del proyecto. Al igual que el VAN, el B/C mide el efecto que tiene el proyecto en el bienestar social, pero su principal diferencia es que el VAN se centra en el agregado de los impactos y la B/C en la eficiencia en el empleo de los recursos.
- **Periodo de recuperación de la inversión**: Es el periodo temporal para el cual el conjunto de beneficios actualizado iguala o supera a la inversión inicial y costes del proyecto.

Para que una alternativa sea rentable económicamente:

TIR> r

VAN > 0

B/C > 1

PRI < n

Siendo r la tasa social de descuento y n el período de análisis.

Todas las condiciones del cuadro anterior son siempre simultaneas en el mismo sentido. Sin embargo, a la hora de clasificar los resultados de un proyecto, distintos indicadores pueden arrojar resultados diferentes a la hora de ordenar por nivel de preferencia distintos proyectos en comparación.

BOX 1

RESUMEN DE SUPUESTOS EMPLEADOS

- Los análisis coste beneficio se han realizado sobre el estado base de la infraestructura en 2019 y no se tienen en cuenta las inversiones ni los beneficios potenciales de líneas todavía sin inaugurar
- El contrafactual se ha establecido bajo el supuesto "Do Nothing"
- Se han tenido en cuenta los beneficios completos de servicios mixtos como Alvia incluyendo su parte de trayecto fuera de las líneas de AV.
- Tasa de descuento del 3% como indica la Guía de la Comisión Europea
- Proyección lineal de crecimiento de los tráficos 2019-2023 en función de los tráficos pasados
- Crecimiento de los tráficos al 2,5% interanual de 2023 en adelante
- Precio Sombra de 0,81
- Horizonte de Evaluación de 50 años