

RESUMEN DE TESIS DOCTORAL

2016



**ANÁLISIS COSTE BENEFICIO DE LAS LÍNEAS DE ALTA
VELOCIDAD EN LA RED DE ALTA VELOCIDAD DE ANDALUCÍA**

AUTOR: FRANCISCO JAVIER PEREA SARDÓN

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS ECONÓMICO II
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

DIRECTOR: FERNANDO BARREIRO PEREIRA

La presente Tesis analiza la rentabilidad social del ferrocarril de Alta Velocidad en Andalucía. Conforme a lo que señala Perea y Barreiro (2015), los soportes del sistema de transporte de personas y mercancías son las infraestructuras de transporte, y la inexistencia, mal diseño o mal estado de las mismas afecta negativamente a la actividad económica causando pérdidas de tiempo y de productividad, aumentos en los costes, y externalidades negativas como la congestión. En este sentido, se ha estimado para la Unión Europea (UE) que las pérdidas anuales ocasionadas por congestión en las infraestructuras de transporte son del orden del 2% del PIB. Según la Comisión Europea (2014a), la contribución del transporte con sus infraestructuras al PIB, en términos de valor añadido bruto, es del 5% en la Unión Europea-28 y del 5,1% en España, donde el consumidor dedica el 12% de su renta disponible a gasto en transporte. El reparto modal, en términos de pasajeros-km transportados, referido al transporte de viajeros en la UE-28, es el siguiente: Carretera 83% (España 89%), ferrocarril 7% (España 4%), navegación marítima 1% (España 1%), y transporte aéreo doméstico 9% (España 6%). Con respecto al transporte de mercancías en términos de tn-km transportadas, el reparto modal en la UE es: Carretera 45% (España 84%), ferrocarril 11% (España 3%), navegación fluvial 4% (España 0%), transporte por tubería 3% (España 2%), y navegación marítima 37% (España 11%); el transporte aéreo de mercancías no es significativo. Las emisiones totales de CO₂ en la UE-28 por causa del transporte son el 28,8% del total de emisiones (en España son el 40,1% del total de emisiones). Por modos de transporte, en la UE-28 el transporte aéreo emite el 12,4% (España 12,7%), el transporte por carretera el 72,1% (España 63,7%), el ferrocarril 0,6% (España 0,2%), y en cuanto a la navegación el 14,1% (en España el 23,2%). Si se analizan las recomendaciones de los cuatro Libros Blancos del Transporte de la Unión Europea, ya en el de 1992 se concibe la Red Trans-Europea de Transportes (*RTE-T*), mientras que en los de 1993, 2001 y 2011 muestran una clara preferencia por impulsar las inversiones en infraestructuras ferroviarias y de navegación, y fomentar el control y la calidad del transporte aéreo y por carretera. La recomendación comunitaria se apoya en el marco de la Estrategia de Lisboa y ya en 2013 el Parlamento Europeo aprobó para el período 2014-2020 inversiones por 21.000 millones de euros destinados a los nueve corredores que integran la red básica de la *RTE-T*, dos de los cuales afectan a España: Sines-Estrasburgo y Sevilla-Budapest. La *RTE-T* consta de dos corredores ferroviarios de mercancías norte-sur, tres corredores este-oeste y cuatro diagonales, y pretende que en 2030 estén conectados por ferrocarril y carretera los 38 principales aeropuertos europeos con 94 puertos, además de disponer de unos 15.000 kilómetros de líneas férreas de Alta Velocidad. Las recomendaciones que la Comisión Europea hace a la Administración española sobre

política de transportes e infraestructuras están recogidas en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (*PEIT 2005-2020*) así como en el Plan Estratégico para el Impulso del Transporte Ferroviario de Mercancías (*PEITFM*) y en el Plan español de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (*PITVI 2012-2024*), y en ellos se insta a fomentar un trasvase modal desde modos poco sostenibles y con superávit relativo de infraestructuras, como la carretera, hacia modos de transporte más sostenibles y con escasez relativa de infraestructuras. Las inversiones públicas en infraestructuras, contenidas en los sucesivos Presupuestos Generales del Estado, reflejan esta intención de cambio modal, estableciendo como puntos prioritarios de inversión el fomento del transporte ferroviario de mercancías y la culminación de los grandes ejes ferroviarios de Alta Velocidad. En este sentido, durante los cuatro años del período 2010-13, España por medio del Grupo Fomento invirtió 56.874 millones de euros en infraestructuras de transporte, la mayor parte terrestre.

La Alta Velocidad es un modo de transporte ferroviario que se distingue del convencional por requerir una infraestructura y un material móvil de unas determinadas características que le permiten alcanzar velocidades punta para el transporte de viajeros de hasta 350 km/hora.

En el caso de España, se entiende por Alta Velocidad cualquiera de los siguientes tipos de transporte ferroviario:

- Líneas diseñadas y construidas para ferrocarriles que alcanzan velocidades comerciales de 310 km/h, con ancho internacional y pendiente inferior a 18 milésimas.
- Líneas ferroviarias con ancho internacional y velocidad comercial de 265 km/h.
- Líneas ferroviarias de ancho ibérico y velocidad comercial de 220 km/h.

En el capítulo 2, que analiza las desviaciones en la construcción de infraestructuras de transporte y la Alta Velocidad ferroviaria, se señala cómo las construcciones de grandes infraestructuras de transporte, por los elevados costes que supone su construcción y mantenimiento, suelen llevar aparejadas previsiones de costes en el momento en que su planificación se realiza, así como previsiones de la demanda de usuarios que finalmente utilizarán estas infraestructuras, ya que el beneficio que se deriva de su puesta en funcionamiento depende básicamente de su grado de utilización. La determinación de la demanda futura de viajeros de una infraestructura de transporte conlleva una elevada incertidumbre, tal como señalan entre otros, Flyvbjerg, Bruzelius y Rothengatter (2003), basándose en que se requiere realizar una prognosis sobre la evolución económica a través de periodos de tiempo muy

prolongados¹, además de la incertidumbre implícita en múltiples variables, lo que podría comprometer seriamente las estimaciones de demanda de viajeros inicialmente realizadas², tal como se manifiesta en Mackie y Preston (1998). Es cierto que podría ser difícil en los años 90 prever la evolución del tráfico aéreo cuando el escenario legal establecía monopolios para las aerolíneas de bandera y cuando no existían compañías aéreas de bajo coste. Este tipo de incertidumbre, evidente en el caso de previsiones de viajeros, lo son menos en el caso de previsiones de costes de construcción y mantenimiento de nuevas infraestructuras de transporte, donde el número de variables a considerar se reduce significativamente, así como el periodo de tiempo que se requiere para su construcción³. Debido a estas dificultades se considera parcialmente justificado que en los análisis realizados a nivel mundial se haya detectado un elevado nivel de error en las previsiones de costes y demanda de viajeros en las infraestructuras de transporte. Sin embargo, no parece razonable argumentar lo anterior como causas exclusivas de las desviaciones, por cuanto se comprueba la existencia sistemática de un sesgo optimista en casi todos los casos (Flyvbjerg, Bruzelius y Rothengatter, 2003), y porque la precisión de las estimaciones de costes no han mejorado en los últimos 70 años (Flyvbjerg, Skamris y Buhl, 2004), a pesar de los avances técnicos y econométricos.

Se ha realizado por este motivo un análisis ex-post de la demanda de viajeros y del coste de construcción de grandes infraestructuras de transporte terrestre en España⁴ y en otros tres países de la Unión Europea: Polonia, Grecia y Alemania, con objeto de determinar la distribución de los errores, la magnitud de los mismos y las causas de que estos se produzcan. Para ello se realiza un análisis simplificado Coste-Beneficio que consigue asociar las desviaciones habidas en las previsiones de demanda y costes de los proyectos de infraestructuras de transporte, con descensos en los beneficios sociales.

Para ello, se han analizado las desviaciones en las previsiones de demanda y costes de los proyectos de infraestructuras de transporte terrestre, tanto para España como para Polonia, Grecia y Alemania. A continuación se han analizado las posibles causas

¹ Las inversiones en grandes infraestructuras de transporte requieren de un horizonte del orden de 30 años, conforme a lo que señala la Comisión Europea (2008a).

² Es el caso de modificaciones legislativas que pueden incentivar, o penalizar, el uso de una determinada infraestructura de transporte; la puesta en funcionamiento de nuevas infraestructuras de transporte, no previstas en el momento de la planificación de la infraestructura analizada, que capten demanda de viajeros de aquella que estamos analizando; o las evoluciones técnicas, incluyendo las de gestión empresarial, que hagan obsoleto, o potencien significativamente, el uso de una determinada infraestructura de transporte.

³ Los riesgos en este caso, fundamentalmente asociados al campo de la geotecnia, de especial incidencia en la construcción de túneles, pueden justificar en determinadas obras civiles que el coste de construcción sea difícil de prever.

⁴ Un precedente a nivel español lo proporciona Ganuza (1997), aunque limitado al coste de construcción de carreteras financiadas por el Ministerio de Fomento, restringiendo la muestra analizada a un único año.

de la desviación optimista en las previsiones, y se elabora un modelo simplificado de análisis Coste-Beneficio que pone en relación la rentabilidad de los proyectos con la desviación de las previsiones. Según los resultados empíricos del modelo, se está en disposición de cuantificar los efectos de las desviaciones en las previsiones sobre el bienestar social, como consecuencia de lo que cual se está en disposición de realizar propuestas para mejorar las previsiones.

La evaluación social de las inversiones en grandes infraestructuras de transporte está condicionada por importantes desviaciones según los análisis ex-post realizados, que pueden ser parcialmente explicadas por la complejidad que se deriva de la estimación de las previsiones que es necesario realizar. Siguiendo a Mackie y Preston (1998), las previsiones necesarias a realizar con precisión, así como los obstáculos más importantes se relatan a continuación. Su defectuoso tratamiento causan desviaciones erróneas en demanda y costes:

1. El análisis de la captación del tráfico desde otros modos de transporte que compiten con el que usará la infraestructura;
2. La tarificación óptima del modo de transporte que utilizará la infraestructura;
3. La estimación de la función de demanda de tráfico. Ello es relevante para establecer una tarificación óptima que maximice el beneficio social, ya que depende de la elasticidad de la función de demanda;
4. Los efectos de desbordamiento (spillover), según los cuales el capital invertido en una zona o provincia es utilizado básicamente por otra u otras diferentes de aquella en que se han producido las inversiones;
5. La posible existencia de divergencias entre los objetivos que se establecieron inicialmente y los actuales;
6. Posible existencia de compromisos previos de carácter político;
7. Defectuoso conocimiento previo de la red de transporte;
8. Definición incorrecta del área de estudio;
9. Definición incorrecta del caso base o del caso "*do-something*";
10. La posibilidad de que la alternativa seleccionada se sobredimensione posteriormente, desde el punto de vista de la ingeniería;
11. Errores en las hipótesis de planificación utilizadas;
12. Errores en las previsiones de factores externos de los que depende la evolución del tráfico;
13. Errores en magnitudes esenciales que afectan al tráfico sobre la nueva infraestructura, como velocidad, frecuencia, o tarifas;
14. Errores en el diseño del modelo de transporte, si es que se implementa, por mala especificación, o defectuosa agregación;
15. Errores en la respuesta esperada de los modos de transporte alternativos;
16. Errores en la definición del periodo de vida de la infraestructura por posible obsolescencia de la tecnológica planteada;
17. Errores por omisión de efectos cuantitativos;
18. Errores en el tratamiento de los efectos de más difícil cuantificación;
19. Errores en el valor asignado a parámetros críticos, como el valor del tiempo de viaje;
20. Dobles imputaciones de algunos efectos como puede

sucedier si al construir una nueva infraestructura de transporte se reduce el tiempo de viaje (efecto de primer nivel), se mejora la accesibilidad (efecto de segundo nivel), y se produce una mejora de la actividad económica como consecuencia (efecto de tercer nivel). Los efectos de segundo nivel y parte de los de tercer nivel son entonces consecuencia directa de los de primer nivel y no deberían ser evaluados por duplicado; 21. Efectos no cuantificados, como impuestos, subsidios, o precios del mercado inmobiliario; 22. Errónea cuantificación de los efectos de red: no debería evaluarse un tramo aislado de red de Alta Velocidad, sino la red en su conjunto; y 23. Posible existencia de cambios normativos durante el periodo de vida de la infraestructura.

Resulta cuanto menos curioso comprobar que el sesgo que se produce en las previsiones es sistemáticamente optimista, conforme a lo reflejado en la presente investigación, hecho que ya fue detectado para los EE.UU. por Walmsley y Pickett (1992), y a nivel mundial por Flyvbjerg, Bruzelius y Rothengatter (2003).

En lo que se refiere a España, los posibles motivos de que se produzcan previsiones de costes a la baja respecto a los que finalmente se producen, y previsiones de demanda de viajeros al alza respecto a las que efectivamente ocurrirán, pueden ser, junto a las causas ya mencionadas, debidas a las siguientes:

- Es percibido por la sociedad española que la construcción de grandes infraestructuras de transporte es algo beneficioso para la sociedad en su conjunto, además de que tradicionalmente ha proporcionado cierto rédito político, como manifiesta el hecho del elevado número de inauguraciones de obras en años de campaña electoral.
- A pesar de la inexistencia de un imperativo legal en España que obligue a que las previsiones de demanda y costes que se realizan en el momento de la decisión de construcción de estas grandes infraestructuras requieran de un análisis coste-beneficio, el hecho de aumentar artificialmente los viajeros afectados y disminuir los costes de construcción es una forma de convencer de la conveniencia de ejecutar las mismas.
- Las empresas constructoras están interesadas en la ejecución de estas grandes infraestructuras, al ser el objeto de su actividad económica. Parece por ello que no es descartable que estén interesadas en influir de alguna forma en que las previsiones que se realizan de futuras infraestructuras exageren los beneficios y minimicen los costes. En España se han tolerado importantes desviaciones presupuestarias en la ejecución de las mismas respecto a lo inicialmente previsto. Cabe señalar en este sentido el denominado "*vigor y poder político del sector de la construcción de obra pública en España*" (Bel,

2010), que se manifiesta de muy diferentes formas⁵.

- Las empresas consultoras, responsables de la elaboración de los estudios que estiman la demanda futura de viajeros y los costes de construcción y mantenimiento de estas grandes infraestructuras de transporte, pueden percibir un cierto conflicto de intereses cuando se les encarga la elaboración de un estudio de planificación, ya que si sus estimaciones se ajustan a la realidad, puede que esas infraestructuras no se ejecuten, lo que derivaría en una pérdida de negocio, al perder la posibilidad de elaborar los proyectos constructivos, modificados de proyectos, o realizar la supervisión o dirección de obra, mientras que si sus previsiones son poco ajustadas a la realidad futura no se convertiría en un perjuicio ya que no existe un control ex-post, ni en lo relativo a los costes de construcción, ni en lo relativo a las desviaciones respecto a la demanda de usuarios de las infraestructuras.

En este contexto, nos encontramos con que España al final de 2013 es uno de los países con mayores dotaciones de infraestructuras de transporte del mundo: 38 aeropuertos y 10 aeródromos; 46 puertos, agrupados en 28 autoridades portuarias, de los que tres están entre los mayores de la Unión Europea⁶; 16.335 kms de red de carreteras de alta capacidad con doble calzada, autopistas y autovías, 2º puesto en la UE-28; 15.932 kms de líneas férreas electrificadas en un 62%, de las que 3.200 kms son líneas de Alta Velocidad⁷, 1º puesto en la UE-28; 4.743 kilómetros de oleoductos y 9.680 kilómetros de gasoductos; 41.229 kilómetros de líneas de tendido para el transporte de energía eléctrica en alta tensión; y unos 1.000 kilómetros de canales y vías navegables interiores. También España ocupa el quinto lugar del Mundo en lo relativo a la calidad de sus infraestructuras ferroviarias, y el decimotercero en la calidad de sus carreteras, según las estadísticas que proporciona el Foro Económico Mundial para 148 países (Schwab et ál., 2013), estando estos hechos escasamente relacionados con la posición que ocupa en otras áreas que permiten identificar a los países más desarrollados, como figurar en el número 77 de 148 países en lo relativo a la calidad de su sistema educativo (Schwab et ál., 2013).

Si fijamos la atención en lo relativo a las líneas de Alta Velocidad, como se ha mencionado, España es el país de Europa con mayor número de kilómetros de Alta

⁵ Según la revista Public Works Financing, España fue en 2013 el país con mayor número de empresas entre los principales grupos concesionarios del mundo por volumen de inversión, siendo españolas cinco de las diez mayores empresas mundiales: Ferrovial (1ª), ACS (2ª), Sacyr (7ª), Globalvia Infraestructuras (8ª, participada por FCC y Bankia) y OHL (9ª).

⁶ Tráfico portuario 2013, millones de toneladas (Mt): Algeciras (90 Mt), Valencia (65 Mt) y Barcelona (42 Mt).

⁷ Datos referidos a líneas de Alta Velocidad en España en 2015, incluyendo entre las mismas aquellas con ancho ibérico que han sido adaptadas para incrementar la velocidad comercial hasta 220 km/h. Por este motivo, la citada oferta no coincide con la que aporta la UIC.

Velocidad por habitante (Bel, 2010). Sin embargo, si se compara el número de viajeros anuales por kilómetro de vía de Alta Velocidad en las principales rutas de Japón, Francia, Alemania y España, en la ruta Tokyo-Osaka se obtuvieron 235.000 viajeros/km, en la ruta París-Lyon 59.000 viajeros/km, en la ruta Köln-Frankfurt 51.000 viajeros/km, en la ruta Madrid-Sevilla 14.000 viajeros/km, y en la ruta Madrid-Barcelona 9.000 viajeros/km (Albalade y Bel, 2011). A nivel de país, el número de viajeros-km por km de red de Alta Velocidad, se advierte que sólo Turquía, de los países evaluados, tiene menos viajeros-km por km de red. En España, por contraposición a Japón, Francia o Alemania, no se requiere la evaluación de los costes y beneficios antes de adoptar la decisión de construir una Línea de Alta Velocidad. En consecuencia, no se han tenido en consideración las previsiones de demanda, que en ningún caso alcanzan la demanda mínima que establece la Comisión Europea (2008a), según la cual, sólo si la demanda es igual a nueve millones de viajeros en el primer año es aconsejable la construcción de una L.A.V. para costes y ahorros de tiempo medios.

En el capítulo segundo se ha procedido a cuantificar la oferta actual de Alta Velocidad ferroviaria por países, y las previsiones hasta el 2025; se constatan las discrepancias tanto entre la longitud de las redes nacionales de Alta Velocidad y la población servida, como en lo relativo a su nivel de utilización, así como las siguientes conclusiones:

- España es, según los datos analizados, el país con mayor extensión de red de Alta Velocidad en relación a su población, pero el tercero con menor nivel de ocupación. Tras el análisis de la bibliografía existente relativa a análisis expost de previsiones de demanda y coste de construcción y mantenimiento de grandes infraestructuras de transporte, a nivel mundial, se ha elaborado uno específico para el caso de España y tres países de la Unión Europea (Polonia, Grecia y Alemania). Como consecuencia del mismo, se confirma la existencia del denominado “sesgo optimista” (Flyvbjerg, 2005), y se concluye que no supone ningún perjuicio para quienes elaboran previsiones poco acertadas las mismas, pudiendo incluso suponer un incentivo económico especialmente cuando son empresas consultoras o constructoras que además de elaborar estudios de demanda, estudios informativos, anteproyectos o proyectos de construcción, realizan o tutelan las supervisiones o direcciones de obra que, con previsiones ajustadas a la realidad no se hubieran llevado a cabo, especialmente si son responsables de su construcción. Sin embargo, a la sociedad en su conjunto, la construcción y puesta en funcionamiento de grandes infraestructuras de transporte cuya rentabilidad social resulte muy discutible, no solo no le sale gratis, sino que supone detraer importantes

recursos económicos de otras áreas de actividad económica donde la rentabilidad social esperada puede ser mayor. De los cuatro países de la Unión Europea de los que se ha dispuesto de datos ex-post en el estudio realizado en la presente tesis, España es el país que tiene mayores desviaciones en la estimación de la demanda de viajeros respecto a la que finalmente se ha producido y también el que tiene mayores desviaciones en la estimación del coste de construcción de infraestructuras de transporte. En España las desviaciones en las previsiones de costes de construcción de infraestructuras de transporte, sólo en las infraestructuras analizadas en este capítulo fueron del orden de 22.758 millones de euros y en cuanto a las previsiones de demanda de viajeros fueron un 33% superiores a la real en las líneas ferroviarias de Alta Velocidad y el 58% superiores en las autopistas evaluadas. Así mismo, las desviaciones de demanda de tráfico y costes de construcción también fueron relevantes, aunque en menor cuantía, en las inversiones en carreteras en los otros tres países de la Unión Europea analizados.

- El ferrocarril de Alta Velocidad es un modo de transporte que, desde 1964 hasta la actualidad, ha visto crecer su oferta de forma constante. Debido, entre otros motivos, a su elevado coste de construcción y mantenimiento, hasta 2025, en total sólo 23 países tienen previsto tener al menos una línea de Alta Velocidad (UIC, 2012), y existen importantes discrepancias en lo relativo a la extensión actual, o prevista, de su red, no guardando una aparente relación la misma con la población servida, ni el número de viajeros transportados. Comparativamente hablando, la extensión de la red de Alta Velocidad en relación a la población, por un lado, y la extensión de la misma en relación al número de viajeros (y viajeros-km) transportados, demuestra que España es el país del mundo que ha realizado una mayor apuesta por la Alta Velocidad.
- Surge la cuestión, en ese sentido, de qué razones han provocado que diferentes países hayan construido y puesto en funcionamiento redes de transporte de Alta Velocidad de extensiones muy dispares en relación a la población servida, y a qué se debe que los niveles de utilización de las citadas redes sean dispares. En particular, parece interesante analizar qué motivos han llevado a que la apuesta de España por la Alta Velocidad sea la mayor, a nivel mundial, en relación a la población servida por kilómetro de red de Alta Velocidad, pero la tercera de menor uso.

Considerando que las inversiones en infraestructuras de transportes, en general, y en particular las relativas a nuevas líneas de Alta Velocidad, que realizan los gobiernos

persiguen el interés general, parece descartable que la explicación de por qué unos países han apostado de forma decidida por una red de Alta Velocidad muy extensa, en términos relativos a su población y uso, respecto a otros, descansa en que se haya realizado previamente un análisis financiero convencional que haya justificado la idoneidad de las inversiones, ya que el análisis financiero sólo considera los ingresos totales y los costes totales de un determinado proyecto, y muchos de los beneficios, a priori, de la puesta en funcionamiento de infraestructuras de transporte en general, y de las líneas de Alta Velocidad en particular, no son beneficios económicos sino sociales; otro tanto ocurre con los costes en que se incurre por la puesta en funcionamiento de nuevas infraestructuras de transporte; son costes que la sociedad soporta en su conjunto (impacto medioambiental, contaminación, etc.).

Es en este sentido en que cabría pensar en que ha sido la evaluación social de las inversiones en Alta Velocidad la que justificado las inversiones que se han realizado. En el presente capítulo, se analizan las principales metodologías de evaluación social, centrándose en una de las más extendidas, el análisis coste-beneficio (ACB), que compara los costes en que la sociedad incurre con los beneficios sociales que obtiene, y según la cual una inversión quedará justificada desde el punto de vista social si los beneficios sociales son mayores que los costes sociales que supone⁸.

Se han analizado con menor profundidad otras de las metodologías existentes para la evaluación social de inversiones:

- El análisis coste-eficacia, que permite comparar diferentes alternativas de un proyecto con un único efecto común a todas ellas, que difiere en su magnitud. Es similar al ACB, pero el análisis de la eficacia va a depender de qué parámetro se elige para medirla. En los casos de evaluación de infraestructuras de transporte, donde no hay un único objetivo, es una técnica de evaluación de escasa utilidad.
- El análisis multicriterio permite comparar múltiples variables de difícil cuantificación en la evaluación de proyectos de infraestructuras de transportes, y por tanto difícilmente incorporables a un análisis coste-beneficio clásico. Permite analizar un proyecto con múltiples objetivos que no pueden ser agregados mediante precios-sombra y adoptando pesos para cuantificar el bienestar (ACB clásico). Entre otros efectos que permite tener en consideración en el proceso de evaluación se encuentran los riesgos geológicos y

⁸ Los fundamentos teóricos de la evaluación de proyectos pueden ser consultados, por ejemplo, en Varian (2010), Asensio y Roca (2001), Bradley, Myers y Marcus (1999), Baca-Urbina (2006) y De Rus (2006b).

geotécnicos, los riesgos hidrológicos y de drenaje, los efectos sobre la vegetación, la fauna, el patrimonio histórico-artístico, etc.

Al objeto de mejorar las previsiones de demanda y costes de construcción de las infraestructuras de transportes, minimizando su actual sesgo optimista, y así optimizar las inversiones en las mismas, se proponen las siguientes medidas:

1. Establecer legalmente el requisito de que todas las inversiones en infraestructuras de transporte por encima de un determinado presupuesto requieran de la realización de un análisis coste beneficio, incidiendo en la evaluación de los aspectos medioambientales, con un *TIR* y un *VAN* por encima de un valor a determinar. Puede en su lugar ser realizado un análisis multicriterio (AMC), o una combinación de AMC y ACB, tal y como proponen (Tudela, Akiki y Cisternas, 2006) para la evaluación de inversiones en transporte urbano. Las variables críticas del análisis deberían estar fijadas a nivel nacional, por ejemplo la tasa de descuento. El requisito legal de elaborar previamente un ACB o un AMC durante la planificación de infraestructuras de transporte ya está en vigor en países de nuestro entorno como Francia, Italia, Alemania o Suecia, entre otros (Jonkhoff y Rustenburg, 2005). La Ley 37/2015 de carreteras va en ese sentido, aunque no cuantifica ni establece el presupuesto como variable crítica, pendiente de que se desarrolle normativamente vía reglamento.
2. Exponer públicamente los estudios de planificación, tal y como propuso Mackie y Preston (1998), así como los modelos utilizados para realizar las previsiones, en formatos abiertos, en la medida de lo posible, para que puedan ser contrastados. Esta obligación de transparencia va en línea con recientes desarrollos normativos nacionales, por ejemplo, la Ley 19/2013 de Transparencia, Acceso a la información pública y Buen Gobierno, y a iniciativas de carácter internacional como el gobierno abierto o los datos abiertos.
3. Realizar de forma sistemática, por parte de la Administración, un análisis *ex-post* de las previsiones que se realizaron en el momento en que se decidió la inversión en grandes infraestructuras de transporte, contrastándolas con los resultados que finalmente se obtuvieron⁹. En especial, debieran analizarse las variables críticas, como el coste de construcción, el coste de mantenimiento o la demanda de viajes. Los resultados del citado análisis deberían ser públicos,

⁹ Chevroulet et ál. (2012) propone asimismo la realización de análisis *ex-post*, en lo relativo a ferrocarriles de Alta Velocidad, como medida para evitar los sobrecostes detectados en la UE.

y en los mismos se debería interpelar a la Administración que encargó la evaluación social de la inversión, verificar el año de la realización del encargo, la administración y empresa consultora que realizó el estudio, el año previsto de finalización de la infraestructura, el año de finalización efectiva, y las variables críticas antes citadas, año a año. El mero hecho de hacer público esta base de datos puede establecer un primer incentivo para que las previsiones sean lo más ajustadas a la realidad futura, tanto para las empresas consultoras, como para las administraciones o responsables políticos que establecen la conveniencia de llevar a cabo inversiones en infraestructuras de transporte.

4. Como consecuencia del citado análisis ex-post, y cuando la amplitud de la base de datos recopilada lo permita, se podrá estar en condiciones, por parte de la Administración, de establecer una calificación a las empresas que deseen realizar un ACB o un AMC para evaluar infraestructuras o servicios de transporte, de forma que, en función a lo acertadas que hayan sido sus previsiones, se les habilite para realizarlas a un determinado nivel de inversión. Este será un segundo incentivo fundamental para quien elabora los análisis, al quedar vinculada su capacidad para elaborar futuras previsiones a lo acertadas que sean sus previsiones pasadas.
5. En los casos en que, en la etapa de proyecto de construcción de las infraestructuras se detecten desviaciones entre el coste previsto o de la demanda inicial, por encima de un determinado y limitado porcentaje, tal vez debería establecerse la obligatoriedad de actualizar el análisis con nuevos datos.

Las inversiones en infraestructuras de transporte, por los elevados recursos económicos que suponen su materialización, y por ser muchos de sus costes y beneficios de carácter social (ahorro de tiempo de los viajeros, medioambientales, etc.) requiere, según la normativa de múltiples países, su evaluación social mediante diferentes metodologías. Entre las mismas, dos destacan por encima del resto:

- El ACB, que monetariza todos los costes y beneficios cuantificables durante el periodo de vida útil de la infraestructura. Su aplicación requiere de la estimación de la demanda marshalliana, aunque es posible determinar el VAN, con un determinado margen de precisión sin conocer la misma, a partir de la determinación de la Variación equivalente y la Variación equivalente, mediante cotas mínimas y máximas de la misma (según la formulación propuesta por

Segura (1991)). Sin embargo, es posible aproximarse al resultado del VAN a partir de la teoría del excedente del consumidor y el productor, conforme a la regla de la mitad, tal y como señalan diferentes autores (De Rus, 2003, entre otros).

- El AMC, que soslaya la principal objeción que se le realiza al ACB, al incorporar como criterio de decisión también variables no cuantificables, o de difícil cuantificación.

Por otro lado, cabe resaltar que el análisis de impacto económico permite analizar el impacto de una determinada actuación, como la construcción de una infraestructura de transporte, genera en su entorno socioeconómico, centrándose en los indicadores macroeconómicos y en las predicciones de la evolución de estos indicadores como consecuencia del proyecto a estudio. Es decir, sus resultados pueden permitir justificar una actuación en función a los beneficios económicos esperables más allá del lugar físico en que se implanta, y la demanda de viajeros que la utiliza. En este sentido, se han analizado brevemente los principales modelos de evaluación existentes hasta el momento (ASTRA, SASI, CGEurope y SCENES):

ASTRA

Los modelos de evaluación integrados economía-transporte-medioambiente persiguen evaluar los impactos económicos tanto a nivel nacional como internacional. Estos modelos pretenden analizar la interacción entre el transporte y la economía (en los dos sentidos posibles). A escala europea, el modelo European assessment of transport strategies (ASTRA) ha sido aplicado tanto a nivel europeo, como a nivel de una única infraestructura, adjuntándose a continuación una breve descripción del mismo a partir de Shade (2006).

El modelo ASTRA es un sistema dinámico que genera en el tiempo las variables e indicadores necesarios para la evaluación de políticas de inversión en infraestructuras de transporte. Originalmente se desarrolló a partir de modelos a los que se proporcionó una formulación dinámica, tales como el modelo QUEST (macroeconómico) y modelos clásicos de cuatro etapas (SCENES).

El modelo ASTRA ejecuta escenarios en el periodo 1990-2020 a partir de los doce primeros años, utilizados para la calibración del modelo. La principal fuente de proveniencia de los datos de calibración del modelo es la Oficina Estadística Europea (Eurostat) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

El fundamento de la formulación dinámica de ASTRA se basa en ciclos que se retroalimentan, sirviendo las retroalimentaciones positivas para reforzar el

comportamiento del modelo, mientras que las retroalimentaciones negativas amortiguan el comportamiento del modelo.

SASI

Se ha desarrollado dentro del Proyecto “Integrated Appraisal of Spatial economic and Network effects of transport investments and policies” (IASON). El principal objetivo de este modelo es analizar los efectos en el territorio como consecuencia de los cambios que suponen la construcción de infraestructuras de transporte y la implantación de nuevas políticas tarifarias (Jonkhoff y Rustenburg, 2005).

Este modelo, para analizar los efectos en el territorio, divide Europa en 1341 regiones. El modelo explica la distribución regional de la producción, a partir de los factores de producción: trabajo, capital, conocimiento y accesibilidad. No se incluyen otros factores como el mercado del suelo.

CGEurope

Al igual que el modelo anterior, el espacio se encuentra dividido en 1.341 regiones, cada una de las cuales tiene relaciones comerciales con las restantes. Sus principales características son:

- Permite la introducción de impuestos y subsidios en determinados productos.
- Supone la no existencia de movilidad en el mercado de trabajo, lo que se ajusta en buena medida a la realidad de la Unión Europea.
- No incluye el mercado del suelo.
- Al ser un modelo de equilibrio general, los efectos se obtienen inmediatamente, y no gradualmente en el tiempo.

Este modelo permite ser usado con cualquier tipo de infraestructura, aunque las rigideces en el mercado de trabajo y del suelo, y por tanto los efectos indirectos, parecen no tener un análisis completo (Jonkhoff y Rustenburg, 2005).

SCENES

Es un modelo de transporte y economía regional que permite analizar los efectos directos. Entre ellos, analiza los efectos en el sistema de transportes de un cambio en la tarificación del transporte de mercancías por carretera.

Este modelo compara un escenario base frente a un escenario en el que se incluye la tarificación a analizar, aportando los siguientes impactos (Tavasszy et al, 2004):

- Modificación en las rutas utilizadas por camiones
- Modificación de las flotas de camiones

- Cambio modal hacia transporte combinado, incluyendo el ferrocarril o el transporte marítimo.
- Incremento en la producción de bienes y en el consumo de mercancías por suministradores locales.
- Cambios entre regiones de la Unión Europea en la ubicación de industrias manufactureras y de servicios.

En el capítulo tercero, que analiza la evaluación social de las infraestructuras de transporte, se incluye el tipo de evaluación de proyectos de infraestructuras, que, según la normativa nacional, es preceptiva en diferentes países (Jonkhoff y Rustenburg (2005)).

La investigación realizada contiene un modelo simplificado de análisis coste beneficio que relaciona las desviaciones en las previsiones de demanda y costes con pérdidas en los beneficios sociales (Perea y Barreiro, 2015).

Para poder evaluar si la demanda final y el coste final de construcción justifica la construcción y puesta en funcionamiento de las infraestructuras de transporte anteriormente descritas, se desarrolla y aplica un Análisis Coste Beneficio, que con las pertinentes hipótesis simplificadoras, relaciona los beneficios sociales con las previsiones de demanda y costes. Se utiliza el análisis Coste-Beneficio para evaluar la rentabilidad social de un proyecto, y se supone que un proyecto es socialmente rentable cuando su valor social presente descontado o valor actual neto social es positivo. En ausencia de costes de mantenimiento, pero considerando los beneficios sociales (BS) y el coste de inversión de la infraestructura (I) que se debe valorar al coste social de oportunidad, el VAN social de un proyecto viene dado por la siguiente expresión:

$$VAN_s = -I + \sum_{t=1}^T \frac{BS_t}{(1+i)^t}$$

Donde t es el número de anualidades y T el número de años de vida útil del proyecto; i es la tasa social de descuento, similar al tipo de interés nominal aunque no siempre coincide con él. I es el coste de inversión de la infraestructura y BS son los beneficios sociales, que contienen los beneficios privados más las variaciones causadas en el bienestar de consumidores y productores. Esta variación del bienestar de los consumidores se mide por la variación compensatoria, cuyo valor es equivalente al área contenida bajo la curva de demanda Hicksiana o compensada. Dado que el error cometido al asimilar el valor de este área al área bajo la curva de demanda Marshalliana o curva demanda-precio es muy pequeño, habitualmente entonces la variación del bienestar de los consumidores se mide por su excedente neto, e

igualmente, la variación del bienestar de los productores se mide por el excedente neto del productor, o área entre la curva de oferta y el eje de ordenadas, si el mercado es competitivo. Por lo tanto: $BS_t = p_t \cdot q_t - C_t + EC_t + EP_t$. Donde EC y EP son respectivamente los excedentes de los consumidores y de los productores, q es el número de usuarios anuales de la infraestructura, y p el precio unitario o tarifa por el uso de la infraestructura. Los precios, así como los costes de inversión y de mantenimiento, deben de valorarse al coste social de oportunidad, para lo cual se calculan los precios sombra que reflejen el valor de los costes marginales. Supongamos ahora para simplificar el análisis, que el mercado de infraestructuras es competitivo, en el sentido de que hay muchos consumidores dispuestos a utilizarla y muchas empresas dispuestas a construirla y ofrecerla. En esta estructura de mercado estarán definidas las curvas de oferta y demanda, y se puede aproximar el excedente social (ES) por la suma de los excedentes de los consumidores (EC) y productores (EP): $ES = EC + EP$. Con el objeto de simplificar el cálculo del excedente social, supongamos ahora que la oferta y la demanda de mercado se pueden ajustar linealmente, y supongamos también que el excedente social se puede poner en función del ingreso privado ($p \cdot q$): $ES = \lambda \cdot (p \cdot q)$, donde λ es un parámetro. Si la oferta y la demanda son lineales, respectivamente del tipo:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Oferta: } q = c + d \cdot p \\ \text{Demanda: } q = a - b \cdot p \end{array} \right\} \text{ entonces: } p = \frac{a - c}{b + d}, \quad \text{y} \quad q = \frac{a(b + c)}{b + d};$$

$$EC = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{b} - \frac{a - c}{b + d} \right) \left(\frac{a(b + c)}{b + d} \right) \quad \text{y} \quad EP = \frac{1}{2} \left(\frac{a - c}{b + d} - c \right) \left(\frac{a(b + c)}{b + d} \right).$$

$$\text{Pero } ES = EC + EP = \lambda \cdot (p \cdot q); \text{ luego: } \lambda = \frac{1}{2p}$$

Siendo a , b , c y d los parámetros que determinan las funciones de oferta y demanda. Supongamos además, siguiendo a Coto e Inglada (2003), De Rus y Nombela (2007) y De Rus (2009), que: i) los precios p reflejan el coste de oportunidad, ya que coinciden con los costes marginales, al suponer un mercado perfecto; ii) no hay impuestos ni subvenciones; iii) no hay mercados secundarios; y iv) que aunque en algunos casos la tasa social de descuento para este tipo de evaluación de proyectos de infraestructuras suele estar en torno al 0,05 por simplicidad la haremos coincidir con el tipo de interés nominal, que el Banco Central Europeo mantiene en la actualidad en 0,0005 para la zona Euro, por lo que aproximamos i como $i = 0$. Dado que nos interesa resaltar el efecto de las previsiones erróneas de demanda y costes, asumimos que los ahorros de tiempo de viaje para pasajeros y mercancías, los posibles ahorros en costes por cambios en el tamaño de flota, los ahorros en externalidades negativas, como

accidentes, emisiones de CO₂, efectos sobre el cambio climático, ruido y congestión, están ya incluidos en los excedentes de consumidores y productores para cada proyecto. En estas condiciones el VAN social para la evaluación de proyectos de infraestructuras quedaría aproximado como:

$$VAN_s = -I + T(p \cdot q + EC + EP) = -I + T(p \cdot q + \lambda \cdot p \cdot q) = -I + T \cdot p \cdot q(1 + \lambda)$$

Si ahora sustituimos el resultado [40], es decir, λ por $1/2p$, entonces el VAN social ex-ante o rentabilidad esperada del proyecto vendrá dada por:

$$VAN_s^e = -I^e + T(p^e \cdot q^e + \frac{q^e}{2})$$

Donde las variables con superíndice "e" indican términos esperados o previstos. El proyecto se ejecutará si $VAN_s^e > 0$. Calculando ahora el tiempo que debe transcurrir para que la inversión proyectada esté en la frontera de rentabilidad: $VAN_s^e = 0$,

obtenemos que el número de períodos para que esto ocurra será: $T = \frac{I^e}{p^e \cdot q^e + \frac{q^e}{2}}$.

Sustituyendo este tiempo T en el VAN social final, o ex-post, del proyecto, donde las variables están ya en términos realizados, podremos ver si para este número de períodos el VAN social final es positivo, negativo o cero, y por tanto si el proyecto va a ser rentable o no, en términos de ACB. El VAN social final es:

$$VAN_s^F = -I^F + T(p^F \cdot q^F + \frac{q^F}{2}) = \left(\frac{p^F \cdot q^F + \frac{q^F}{2}}{p^e \cdot q^e + \frac{q^e}{2}} \right) \cdot I^e - I^F$$

Es decir:

$$VAN_s^F = \frac{q^F(p^F + 1/2)}{q^e(p^e + 1/2)} \cdot I^e - I^F$$

Si además suponemos que la tarificación proyectada coincide con la final ($p^F = p^e$), ya sea porque no hay inflación ($\pi = 0$) o porque no ha habido modificaciones tarifarias, la ecuación del VAN social final se simplifica hasta quedar como sigue:

$$VAN_s^F = \frac{q^F}{q^e} \cdot I^e - I^F$$

Si este valor resulta ser positivo, el proyecto en estas condiciones sería rentable, y si es negativo no. Sólo para algunos proyectos en los que no se tienen datos concretos de las previsiones de demanda la relación q^F/q^e se puede aproximar regresando ambas variables, q^F y q^e , sin constante, con los datos que se aportan. Para estos casos los resultados son los siguientes:

- Ferrocarriles (Líneas de Alta Velocidad): $(q^F/q^e) = 0,665$
- Carreteras: $(q^F/q^e) = 0,515$

si dividimos ahora la ecuación $VAN_S^F = \frac{q^F}{q^e} \cdot I^e - I^F$ por la

inversión prevista, I^e , tenemos:

$$\frac{VAN_S^F}{I^e} = \frac{q^F}{q^e} - \frac{I^F}{I^e}; \text{ y reordenando queda que: } VAN_S^F = \left(\frac{q^F}{q^e} - \frac{I^F}{I^e} \right) \cdot I^e$$

Expresión que, bajo todas las simplificaciones anteriormente mencionadas, relaciona el VAN social exclusivamente con las previsiones de demanda y costes. Dado que la inversión prevista (I^e) siempre es positiva, se desprende que el signo del VAN_S^F dependerá de si la razón (q^F/q^e) es mayor, igual o menor que (I^F/I^e) . Es decir, si $(q^F/q^e) > (I^F/I^e)$, entonces el VAN_S^F será positivo y el proyecto sería rentable, y si por el contrario, $(q^F/q^e) < (I^F/I^e)$ entonces el VAN_S^F será negativo y la inversión no rentable, como se observa a partir de los datos de los datos aportados respecto, por ejemplo, a la LAV Madrid-Barcelona, donde sucede que: $(q^F/q^e) = 0,6795$, mientras que $(I^F/I^e) = 1,0808$.

La aplicación de este modelo a la muestra de proyectos de infraestructuras de transporte en los cuatros países de la Unión Europea considerados consigue cuantificar la disminución de los beneficios sociales por causa de las desviaciones en las previsiones de demanda y costes. Los resultados instan al establecimiento de una legislación que obligue a la realización de ACB o AMC en todas aquellas inversiones en infraestructuras de transporte por encima de un cierto presupuesto, con criterios contrastados, según una metodología clara y accesible, que establezca un seguimiento público ex-post de las previsiones con las que se han elaborado los citados análisis, y que clasifique a las empresas responsables de su elaboración en función a la bondad de las mismas, de forma que sólo aquellas empresas bien

valoradas puedan realizar futuras previsiones en las grandes infraestructuras de transporte. El establecimiento de incentivos a realizar previsiones más acertadas supone que los proyectos que se lleven a cabo puedan garantizar con mayor probabilidad la obtención de beneficios sociales, es decir, que lleguen a ser social y económicamente rentables.

A la luz de las desviaciones detectadas de las previsiones de costes de construcción y demanda de viajeros que se realizaron de múltiples infraestructuras de transporte en España, y en especial de líneas de Alta Velocidad, se considera conveniente aplicar el ACB mediante la metodología aquí propuesta, para analizar sus resultados, a un caso particular.

En el cuarto capítulo se ha realizado el ACB de la línea de Alta Velocidad Sevilla-Málaga. La Línea de Alta Velocidad Sevilla-Málaga ha sufrido diversas vicisitudes desde su planteamiento inicial. Como punto de partida, y en la configuración que inicialmente se adoptó, su trazado constaba de dos tramos fundamentales:

1. El tramo Sevilla-Antequera, que se integra en el Eje de Alta Velocidad Transversal de Andalucía (Sevilla-Antequera-Granada-Almería). El citado eje debía ser construido expresamente para ello, y era un proyecto financiado e impulsado por la Junta de Andalucía y el Ministerio de Fomento, conforme al acuerdo alcanzado entre ambas administraciones en mayo de 2004¹⁰. Se encuentra incluido en los planes de infraestructura estatal y autonómico siguientes:
 - a. Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT) (Ministerio de Fomento, 2005).
 - b. Plan Director de Infraestructuras de Andalucía (1999-2007).
 - c. Plan de Infraestructuras para la Sostenibilidad del Transporte (2007-2013).

La construcción del tramo Sevilla-Antequera (con una longitud de 128 kilómetros) se consideró que iba a ser financiada exclusivamente por la Junta de Andalucía, mientras que la financiación del tramo Antequera-Granada-Almería (con una longitud de 313 kilómetros) corresponde al Ministerio de Fomento. A finales de 2015, la situación es la siguiente:

¹⁰ Ver nota de prensa de la Agencia de Obra Pública de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía del 7 de agosto de 2008.

- Está próxima a su finalización la construcción y puesta en funcionamiento del tramo Antequera-Granada, financiado por el Ministerio de Fomento.
 - El tramo Sevilla-Antequera, financiado por la Junta de Andalucía, finalizó las obras relativas a la construcción de la plataforma, por un importe aproximado de 300 millones de euros, y desde entonces, se ha suspendido *sine die* la construcción del resto de la infraestructura.
2. El tramo Antequera-Málaga, que se encuentra operativo desde que se puso en funcionamiento la Línea de Alta Velocidad Madrid-Málaga (inaugurada el 23 de diciembre de 2007).

Se ha partido de las siguientes hipótesis:

- Crecimiento del PIB del 2,5% anual durante los 30 años del periodo analizado.
- Tasa de descuento del 6% (Comisión Europea, 2008a).
- Elasticidad Demanda-Renta del 1,25 (Coto-Millán et al, 1997).
- No se han imputado como costes los relativos a la construcción y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias ya en funcionamiento en septiembre de 2015, al objeto de situarnos en un escenario optimista. Se ha optado por este enfoque al objeto de determinar si, incluso en ese escenario, tiene sentido seguir invirtiendo en la construcción de nuevas líneas de Alta Velocidad. Sin embargo, se considera que desde el punto de vista teórico, lo más adecuado sería suponer que todas las líneas que son utilizadas en el análisis tienen los costes asociados a ello, lo que necesariamente implicará aumentar el ámbito de estudio, no restringiéndolo a una sola ruta, ya que cada tramo de Alta Velocidad, y especialmente si no son tramos de la periferia de la red, es utilizado por diferentes rutas, y todas ellas deberían ser evaluadas en su conjunto. Por ello, se ha extendido el ámbito de análisis al conjunto de la región andaluza en el capítulo siguiente.

En lo relativo a la relación Sevilla-Málaga, se han considerado seis alternativas (A, B, C, D, E y F) de construcción y/o explotación:

- Alternativa A: utiliza la infraestructura del AVE ya construida, recorriendo las localidades Sevilla-Almodóvar del Río-Córdoba-Puente Genil-Antequera-Málaga, pero incrementando la velocidad comercial mediante una explotación y un material móvil más exigentes.
- Alternativa B: similar a la alternativa A, salvo por requerir la construcción y puesta en funcionamiento de un desvío en el entorno de Almodóvar del Río (a

14 km de Córdoba). Esta alternativa evita Córdoba, acortándose el tiempo de viaje.

- Alternativa C: similar a la alternativa B, pero requiere la construcción y puesta en funcionamiento de una estación junto al desvío ubicado en el entorno de Almodóvar del Río. Permite realizar, por tanto, viajes Sevilla-Córdoba y Málaga-Córdoba, trasbordando en Almodóvar del Río, pero penaliza consecuentemente por el tiempo de parada en esta estación a los viajeros Sevilla-Málaga.
- Alternativa D: mantiene la plataforma actual de ferrocarril convencional entre Sevilla y Antequera, pero realizando obras de mejora, lo que permite incrementar la velocidad comercial desde la actual (según los tramos, la velocidad máxima actual varía entre 115 km/h y 160 km/h), hasta 220 km/h en el tramo Sevilla-Antequera. En Antequera se conecta a la línea de Alta Velocidad para realizar el tramo Antequera-Málaga.
- Alternativa E: Requiere una nueva explanación en el tramo Sevilla-Antequera (duplicando prácticamente el actual trazado), incrementando la velocidad máxima a 300 km/h. Da servicio al aeropuerto de Sevilla, y en el tramo de acceso a Sevilla es subterráneo, por las limitaciones de espacio. Es la alternativa más costosa de las evaluadas, y la que más reduce el tiempo de viaje.
- Alternativa F: de igual trazado a la alternativa E, salvo en el tramo entre Marchena y Sevilla (con una longitud de 28 kilómetros), en que se propone utilizar la explanación del ferrocarril convencional actual entre Sevilla y Marchena.

Los resultados del ACB en la Línea de Alta Velocidad Sevilla-Málaga por alternativas señalan que están justificadas socialmente las alternativas A a D, siendo la que proporciona mayor retorno social la alternativa A. Desde el punto de vista financiero, además de las alternativas E y F, proporciona un valor negativo la alternativa D.

Los resultados comentados provienen de la aplicación de un ACB, y podrían verse matizados como consecuencia de la consideración de otros criterios aquí no considerados (efectos de desbordamiento, por ejemplo, o los resultantes de la aplicación de un AMC).

Los resultados del ACB de la relación de Alta Velocidad Sevilla-Málaga son robustos frente a las variables de evolución del PIB, elasticidad Demanda-Renta y tasa de descuento, al haberse realizado análisis de sensibilidad a las tres variables citadas con resultados que, aun variando en términos absolutos, no varían en términos relativos

respecto a la selección de la alternativa más idónea, y la que proporciona mayor beneficio social y financiero.

En el quinto capítulo se ha elaborado un ACB del conjunto de la red ferroviaria de Alta Velocidad de Andalucía, bajo las mismas hipótesis del caso de la línea Sevilla-Málaga: crecimiento del PIB del 2,5% anual durante el periodo analizado (30 años desde el momento de inauguración de cada tramo), una tasa de descuento del 6% (Comisión Europea, 2008a), y una elasticidad Demanda-Renta del 1,25 (Coto-Millán et al, 1997). Los resultados del ACB en el conjunto de la red ferroviaria de Alta Velocidad de Andalucía demuestran que ésta es deficitaria desde un punto de vista financiero, ascendiendo el déficit a más de 17.000 millones de euros (2015). Desde un punto de vista social, existe un déficit menor, del orden de 13.000 millones de euros (2015), al haberse contabilizado los beneficios sociales que se obtienen como consecuencia de la puesta en servicio de la Línea de Alta Velocidad (ahorros de tiempo, beneficios medioambientales, etc.). Conforme a estos resultados, puede afirmarse que la construcción y puesta en funcionamiento del conjunto de la red de Alta Velocidad en Andalucía no genera suficientes beneficios sociales para justificar la misma, desde una perspectiva exclusivamente económica, y en función a los resultados del ACB realizado. Se ha supuesto el coste de construcción y mantenimiento de una red de Alta Velocidad de Andalucía completa, sin descontar aquellos costes de la red ya construida para satisfacer otras relaciones (el tramo Sevilla-Córdoba, por ejemplo, construido inicialmente para la línea Sevilla-Madrid) aunque cabe señalar que según De Rus (2003) el AVE Madrid-Córdoba-Sevilla, de forma aislada, no era rentable socialmente según la metodología ACB.

Adquiere relevancia, conforme a los resultados aquí expuestos y a la trascendencia de los mismos en términos de recursos económicos invertidos y beneficio social obtenido, la importancia de realizar evaluaciones sociales ex ante y ex post. Parece aconsejable, pues, disponer de una metodología estándar que a nivel nacional, y europeo, homogeneice y simplifique el procedimiento de evaluación, al objeto de agilizarlo y permitir obtener resultados comparables entre sí. Por ello, se han analizado las principales características del software disponible para evaluar socialmente inversiones en infraestructuras de transporte, y se han descrito las características de la hoja de cálculo desarrollada en la presente Tesis para evaluar las mismas. Se considera que el mismo incluye las características fundamentales, comunes al resto de software analizados, y es una herramienta que facilita la aplicación de ACB.

Se han analizado los principales software de análisis coste beneficio. La aplicación del análisis coste beneficio a una infraestructura de transporte, y en particular a una línea

ferroviaria de Alta Velocidad, es un proceso laborioso, que puede ser automatizado mediante el desarrollo de un software específico.

Se han analizado diferentes experiencias previas a nivel internacional en las que administraciones han desarrollado herramientas con el objetivo de sistematizar y automatizar, en la medida de lo posible, la aplicación del análisis coste beneficio para evaluar infraestructuras de transporte. Entre las mismas destacan las siguientes:

- BCA.Net
- Cal-BC
- HERS-ST
- Nohal Prat
- MicroBENCOST
- STEAM
- StratBenCost

A continuación se analizan las principales características de las mismas.

BCA.Net

Aplicación basada en la web y desarrollada por el Ministerio de Fomento de los EE.UU. (Federal Highway Administración), que permite realizar el análisis coste beneficio en autopistas. Es utilizada por administraciones, tanto a nivel nacional como estatal y local. Permite al usuario modificar los datos, adoptar valores de experiencias previas, analizar diferentes alternativas, y evaluar y comparar los costes y beneficios de las mismas. Proporciona indicadores de evaluación de las alternativas analizadas.

Al objeto de utilizar BCA.Net, es necesario introducir los siguientes datos:

- Costes de capital.
- Características físicas y de funcionamiento de la infraestructura.
- Previsiones de la demanda de viajes.

El usuario especifica asimismo qué tipos de costes desea evaluar, como el mantenimiento de la autopista a evaluar. Debe definirse tanto el caso base como la alternativa a evaluar. BCA.Net calcula el impacto del tráfico, y proporciona los costes que supondrá la actuación para la Administración y para los usuarios, así como los beneficios, proporcionando como resultado, entre otros, el VAN, el ratio coste-beneficio y el TIR, tanto en el caso base como en la alternativa evaluada.

BCA.Net permite realizar análisis de riesgos en aquellas variables de entrada críticas en el proyecto al objeto de analizar el impacto en los resultados del análisis, mediante la asignación de distribuciones de probabilidades a las variables de entrada con mayor incertidumbre (previsiones de crecimiento de la demanda de viajes o costes de financiación, por ejemplo).

Esta herramienta funciona en la web, y es gratuita. Al no requerir de la instalación de un software específico a instalar en el ordenador, los datos que se introducen al utilizar el programa se almacenan en los servidores de la página web que la alberga. Al finalizar una sesión, se proporciona al usuario la alternativa de almacenarlos en su ordenador personal y así poder volcarlos posteriormente a la web en caso de necesitarlos más adelante.

Cal-BC

Es un conjunto de hojas de cálculo desarrollado por el Departamento de Transportes del Estado de California (EE. UU.), y accesibles vía web gratuitamente. Permite realizar un análisis coste beneficio tanto de autopistas como de infraestructuras de transporte público (incluyendo las ferroviarias) y algunos tipos de sistemas inteligentes de transportes, entendiendo por tales aquellas soluciones tecnológicas que permiten mejorar la operación y la seguridad en el transporte terrestre (por ejemplo, la implantación del cobro electrónico de peajes en autopistas).

Este software calcula los costes de la inversión analizada durante la vida útil del proyecto, así como el VAN, el ratio coste-beneficio, la tasa interna de retorno, los beneficios que anualmente se producen y el beneficio final en el conjunto de la vida útil de la inversión. El resultado del análisis se complementa con tres medidas de rendimiento adicionales:

- Ahorro de tiempo de viaje para los usuarios.
- Toneladas no emitidas de CO₂ (en toneladas).
- Toneladas no emitidas de CO₂ (en millones de dólares).

Es posible calcular el ahorro de emisiones de otros gases de efecto invernadero utilizando factores de equivalencia.

En el caso de ser aplicado para evaluar la construcción de una infraestructura de un nuevo ferrocarril, requiere como datos de entrada las principales características de la misma (longitud, coste, gastos anuales de mantenimiento, gastos de rehabilitación). Otros datos que requiere, tanto en el escenario de construcción como en el caso base, son:

- En lo relativo a la demanda de viajes:
 - Número de viajes anuales en el año base y a los 20 años.
 - Porcentaje de viajes en el periodo punta.
 - Porcentaje de viajes inducidos de la autopista alternativa.
- Veh-kms en el año base y a los 20 años.
- Media de vehículos por composición ferroviaria.
- Porcentaje de reducción de de accidentes en transporte público.
- Tiempo medio de viaje, tanto en periodo punta como en periodo valle, en lo referente a la nueva infraestructura, y ahorro respecto al tiempo en la alternativa en vehículo privado.
- Características principales de la alternativa para el vehículo privado (número de carriles, velocidad media, IMD actual e IMD prevista en el año horizonte).
- Costes asociados a proyectos adicionales, de incluirse éstos (por ejemplo: prioridades semafóricas, BRT, etc.).

Call-BC incluye asimismo herramientas complementarias que permiten el análisis de arcos y redes.

HERS-ST

El software “Highway Economic Requirements System–State Version” ha sido desarrollado por el Ministerio de Fomento de los EE.UU. (Federal Highway Administration, 2002), al igual que el software BCA.Net antes comentado. Su objetivo y metodología son sin embargo diferentes, ya que el modelo HERS-ST diseña y evalúa posible mejoras en secciones individuales de autovías, junto a la alternativa de no realizar actuaciones.

Este software considera tres etapas en la evaluación de los proyectos:

1. Diseño: define las mejoras alternativas. En el diseño de las mejoras, se identifican previamente las deficiencias (estado del firme, tipo de superficie, anchura de los carriles, capacidad de la vía en relación a su IMD, tipo y anchura de los arcenes y trazado de la vía), y se identifican qué tipo de alternativas se van a evaluar (reafirmado, reconstrucción, ampliar la anchura de los carriles, añadir carriles, añadir/ampliar arcenes y modificar el trazado).
2. Análisis de impactos: estima las consecuencias de la ejecución de cada una de las alternativas. El análisis de impacto de las alternativas en cada sección es

realizada por este software a partir de los resultados de actuaciones previamente ejecutadas y evaluadas, recopiladas en una base de datos de más de 100.000 muestras de diferentes secciones de autovías.

3. Evaluación: selecciona la alternativa idónea, a partir de un análisis coste beneficio durante la vida útil de la mejora a evaluar en la autopista. El ACB permite limitar o no el presupuesto o el rendimiento de la actuación a ejecutar. Los beneficios que este software considera son los del usuario (ahorro de operación en los vehículos privados, seguridad, tiempo de viaje y excedente del consumidor), gubernamentales (ahorro en mantenimiento de la autopista y valor residual) y externalidades (ahorro de emisiones).

Es decir, el software HERS-ST es un software que permite realizar ACB específico sobre actuaciones de mejora o mantenimiento en tramos de autopistas, y tiene la singularidad de disponer de una extensa base de datos con ese objetivo. Entre sus principales limitaciones, cabe señalar que HERS-ST sólo es de aplicación a tramos de autopistas (sin incluir, por ejemplo, puentes o tramos de otras infraestructuras de transporte público), no modeliza los impactos que se derivan de la construcción de nuevos tramos, no considera los retrasos que se generan como consecuencia de la implementación de las medidas de mejora, no incluye algunos costes (por ejemplo, la contaminación sonora), y no incluye entre la evaluación cuestiones como la equidad social y el impacto financiero.

Nohal Prat

El software Noal Prat (Procedimiento de análisis de proyectos) ha sido elaborado por el Ministerio de Fomento israelí, y consiste fundamentalmente en un análisis coste beneficio. Establece un conjunto de normas de evaluación económica de proyectos, y fue promovido como tal por el Ministerio de Economía, al objeto de que la evaluación de todos los proyectos de transportes que necesitaran cualquier tipo de financiación gubernamental fueran evaluados bajo las mismas premisas y con la misma metodología, consistente en incluir los beneficios y costes asociados, y entre los que destacarían los siguientes:

- Ahorro de tiempo de viaje de los viajeros.
- Ahorro en costes de mantenimiento de los vehículos.
- Ahorro de emisiones.
- Costes de construcción.
- Costes de mantenimiento.

Nohal Prat es un modelo que integra cada uno de los cinco epígrafes anteriores a través de los correspondientes cinco submodelos. La metodología especifica cómo se estiman los beneficios y costes asociados.

El plazo de tiempo en que se realiza la evaluación del análisis económico se clasifica en tres tipos, dependiendo del tipo de infraestructura de transporte:

- Infraestructuras viarias, con un coste de construcción previsto por debajo de 50 millones de NIS¹¹. El periodo de tiempo en que se realiza el análisis es de 15 años.
- Infraestructuras viarias, con un coste de construcción de entre 50 y 250 millones de NIS, es decir, entre 15 y 75 millones de dólares. El periodo de análisis se extiende a 25 años. La mayor parte de las inversiones corresponden a este rango.
- Infraestructuras viarias con un coste superior a 250 millones de NIS (es decir, de más de 75 millones de dólares), y cualquier otro tipo de inversiones en infraestructuras de transporte público (independientemente de su coste). El periodo de tiempo analizado corresponde en estos casos a 40 años.

Una particularidad de esta metodología consiste en que el modelo de costes operativos de los vehículos se fundamenta en precios que no incluyen impuestos ni subvenciones (lo que supone no incluir el precio de la mayor parte del coste del combustible y el vehículo en Israel). El cálculo de la velocidad se realiza mediante una regresión, con la siguiente formulación:

- $VOC = B_0 + B_1 * V^2 + B_2 * \ln(V)$, siendo:
 - VOC: coste operativo del vehículo
 - B_0, B_1, B_2 : coeficientes a determinar mediante regresión, diferenciados según modo de transporte en vehículo privado, autobuses, camiones y camionetas.
 - V: velocidad, en kilómetros por hora.
 - $\ln(V)$: logaritmo natural de la velocidad.

Los costes de construcción se especifican también en precios sin considerar impuestos ni subvenciones, salvo el IVA, por lo que se fundamentan en el coste de la electricidad y el fuel para gestionar la maquinaria pesada.

¹¹El coste se evalúa en la moneda vigente en Israel desde el 1 de enero de 1986, "New Israel Shekels", abreviada como NIS. Corresponde aproximadamente a 15 millones de dólares según el cambio vigente en la actualidad.

MicroBENCOST

MicroBencost fue desarrollado a principios de la década de 1990 por el “National Cooperative Highway Research Program”, dependiente del Ministerio de Fomento de los EE.UU, y dejó de ser actualizado en 1999, aunque aún se encuentra disponible.

MicroBENCOST es un software que permite analizar los costes y beneficios de distintas actuaciones de mejora en autopistas. Permite realizar asignaciones de tráfico en un determinado corredor y calcular previsiones de tráfico. Este software analiza siete categorías de proyectos:

1. Aumento de capacidad: mediante la ampliación de la anchura de la calzada o el establecimiento de carriles para vehículos de alta ocupación.
2. Circunvalaciones: establecimiento de desvíos a autopistas ya construidas y sensiblemente paralelas, para evitar el impacto de desarrollos urbanos o periurbanos.
3. Intersecciones: en los casos en que se evalúa la conveniencia de mejorar la tipología de un enlace viario.
4. Rehabilitación de firmes: permite comparar actuaciones como la reconstrucción del firme, su rehabilitación, o implantar medidas de mantenimiento del firme.
5. Puentes: permite evaluar actuaciones como la rehabilitación de un puente o su reconstrucción.
6. Mejoras de seguridad vial: se aplica en aquellas ocasiones en que la actuación supone la mejora de la accidentabilidad, la disminución del coste de la misma, o una suma de ambos efectos.
7. Intersecciones entre infraestructuras ferroviarias y viarias: permite evaluar las actuaciones de mejora de este tipo de intersecciones.

MicroBENCOST permite analizar en el viario el impacto del desarrollo de centros de atracción de viajes por motivo trabajo, conjuntamente con alguna de las anteriores siete categorías de proyectos.

Este software compara el escenario actual con el escenario en que se ejecuta la actuación a evaluar. El escenario base incluye tanto la autopista que se está analizando como una vía alternativa. En el escenario con la actuación ejecutada, ésta es evaluada conjuntamente con la citada vía alternativa.

Los tipos de beneficios que considera son: disminución del tiempo de viaje, disminución de los costes de mantenimiento de los vehículos y mejora de la

accidentabilidad. Los beneficios relativos al tráfico inducido se consideran en un 50% respecto al tráfico ya existente, conforme a la teoría del excedente del consumidor.

Las categorías de costes consideradas son el coste inicial, el coste de rescate de la infraestructura a la finalización de la vida útil de la infraestructura analizada, y los costes de rehabilitación y mantenimiento durante la misma.

Este software permite fijar el año en que se imputa cada uno de los costes de construcción, y el año a partir del cual los beneficios empiezan a producirse. El periodo de análisis, incluyendo como tal el del tiempo necesario para la construcción de la infraestructura, puede durar un máximo de 40 años.

Las variables que se proporcionan para evaluar la rentabilidad de la inversión son las siguientes:

- Valor Actualizado Neto (VAN).
- Ratio B/C “bruto”, definido como Beneficio de los usuarios / (Costes de construcción y mantenimiento–Valor residual).
- Ratio B/C “neto”, definido como Beneficio de los usuarios + Valor residual + Ahorros en costes de mantenimiento / Costes de construcción.
- Tasa Interna de Retorno.

Otras medidas del impacto de la inversión que se proporcionan, pero no se cuantifican monetariamente, son el cambio en las emisiones de monóxido de carbono, y el cambio de consumo de combustible.

STEAM

El software STEAM (acrónimo de “Surface Transportation Efficiency Analysis Model”) ha sido desarrollado por el Ministerio de Fomento de los EE.UU. (Federal Highway Administración) al objeto de que las administraciones regionales y estatales puedan evaluar inversiones en entornos urbanos y multimodales de infraestructuras de transporte, así como actuaciones (establecimientos de peajes y medidas de gestión de la demanda) (DeCorla-Souza, 1999). El ámbito de aplicación de esta herramienta es tanto a nivel regional como de corredor.

Permite evaluar proyectos con hasta siete modos de transporte (por defecto son el vehículo privado, el coche compartido, el camión, el autobús urbano, el autobús interurbano, el tranvía y el ferrocarril).

El objetivo de esta herramienta es realizar el análisis del tráfico medio semanal, o en hora punta u hora valle. Es posible considerar diferentes tipos de viajes según su

motivo (trabajo, ocio, etc.). Este software está estructurado de forma afín a la información que se obtiene del modelo clásico de transporte de cuatro etapas.

STEAM considera los siguientes tipos de beneficios:

- Tiempo de viaje.
- Costes operativos de los vehículos.
- Accidentabilidad.
- Emisiones (CO, NO_x, etc.).
- Consumo de energía.
- Ruido.

Los costes que considera STEAM son los costes de construcción y operativos asociados a la construcción y mantenimiento de la infraestructura analizada.

Proporciona como medidas de rendimiento económico el VAN de cada una de las alternativas evaluadas, y el ratio beneficio/coste de cada una de ellas.

Asimismo proporciona una cuantificación de los siguientes efectos asociados a las infraestructuras evaluadas:

- Congestión.
- Calentamiento global (emisiones de CO₂ debidas al efecto invernadero).
- Accesibilidad al trabajo.
- Ingresos y transferencias debidas a venta de billetes, peajes y tasas asociadas al combustible.
- Niveles de riesgo asociados a los resultados (distribución de probabilidad asociada a las principales magnitudes evaluadas).

El software y el manual de usuario (Cambridge Systematics, 2000) puede obtenerse de forma gratuita desde la página web de la Agencia Federal.

StratBenCost

El software StratBENCOST permite evaluar inversiones en autopistas a un nivel estratégico y ha sido desarrollado por NCHRP (EE.UU.). Este software se alimenta de la relación entre el software MicroBENCOST y HERS, lo que le permite realizar análisis coste beneficio con mayor detalle. La ventaja de StratBENCOST es que permite realizar el análisis coste beneficio con los mismos requerimientos de datos de entrada, costes unitarios por defecto y ratios de rendimiento que los dos software

citados. StratBENCOST explícitamente cuantifica la incertidumbre de ciertos parámetros de entrada claves, utilizando para ello un modelo de Montecarlo.

Realiza simulaciones en dos situaciones:

- En tramos de carreteras en las que las mejoras propuestas no suponen la atracción significativa de nuevo tráfico.
- En autopistas en que se producirá una captación significativa de tráfico. Para ello, este software requiere datos de entrada que, preferiblemente, deberían ser proporcionados por un modelo de transporte regional con cuatro etapas.

StratBENCOST permite evaluar hasta 20 escenarios en cualquiera de los dos tipos de casos antes comentados. Permite realizar comparaciones de cada uno de ellos respecto al escenario base, o entre ellos. En el caso de análisis de tramos de autopistas, cada escenario puede incorporar combinaciones de diferentes programas de mantenimiento del firme, mejora de la capacidad de la vía, mejoras de trazado o cambios en los sistemas de acceso. En el caso de análisis de redes, la comparación se realiza entre dos alternativas futuras de redes, en la que los datos de entrada de las mismas deben ser obtenidos externamente, en general a partir de un modelo de transportes de cuatro etapas como los referidos previamente.

StratBENCOST permite realizar evaluaciones en periodos de hasta 30 años. Los beneficios se consideran a partir del tiempo que sea necesario para la implementación de la alternativa a evaluar (en general, la duración de la construcción). La estimación de costes de cada uno de los conceptos en que se desagreguen se especifica anualmente durante el periodo de evaluación de la inversión. Los beneficios se calculan, en el caso del análisis de una autopista, en función del tráfico medio diario anualmente, que se supone que evolucionará con una tasa constante de crecimiento durante el periodo de evaluación de la inversión. El tráfico inducido puede estimarse en cada alternativa evaluada a partir de la elasticidad de la demanda aplicada a la diferencia de costes de viaje. Los ahorros de costes de viaje se supone que se aplican completamente al tráfico inducido, contrariamente a lo que propone la teoría del excedente del consumidor.

StratBENCOST incorpora el riesgo en cada análisis, al permitir asociarle una variable probabilística a cada variable de entrada del modelo, especificando el valor medio, el percentil del 10% y el del 90%. Las distribuciones asociadas de probabilidad se generarán, junto a los parámetros estadísticos relevantes (media y desviación estándar). Al finalizar el análisis del coste beneficio, el valor de las variables para las que se ha especificado una distribución probabilística es generado a partir de las

mismas mediante un método de Montecarlo, proporcionándose los resultados bajo la forma de distribuciones de probabilidad, con los parámetros asociados.

Este software considera las siguientes categorías de beneficios:

- Disminución del tiempo de viaje para los usuarios.
- Disminución del coste de mantenimiento de los vehículos privados.
- Disminución de la accidentabilidad.
- Disminución de las emisiones (CO, NO_x, HC).

Las categorías de costes consideradas son:

- Costes de capital.
- Costes de mantenimiento.
- Costes durante la vida útil de la infraestructura.
- Otros costes.

Las medidas de evaluación económica del rendimiento de cada alternativa, comparadas con el escenario base, se realizan, entre otras, a partir del VAN, la TIR, el ratio beneficio/coste, el periodo de recuperación de la inversión, el ratio beneficio/coste en el primer año, el total de beneficios y el coste total.

Debe señalarse que el ratio beneficio/coste no considera como coste los debidos al mantenimiento, mientras que el VAN sí incluye todos los beneficios y costes.

Este software proporciona la desagregación de costes y beneficios, agregados en el periodo de evaluación considerado, sin proporcionar la desagregación anualmente.

ACB para Infraestructuras de Alta Velocidad

Al objeto de facilitar la aplicación del análisis coste beneficio en una Línea de Alta Velocidad, conforme a la metodología desarrollada en la presente tesis, se detallan las características de la hoja de cálculo elaborada para facilitar la aplicación del ACB a líneas de Alta Velocidad, denominado ACB para Infraestructuras de Alta Velocidad.

Los datos de partida que deben ser introducidos de partida son los siguientes:

- Relaciones de Alta Velocidad que son servidas por cada tramo.
- Demanda de viajeros de cada relación, y procedencia por modo de transporte (en porcentaje, según sea de vehículo privado, ferrocarril, autobús e inducida).
- Tasa de descuento (por defecto, 6%).

- Crecimiento del PIB interanual (por defecto, 2,5%).
- Elasticidad de la demanda/renta (por defecto, 1,25).
- Distancia a recorrer en cada relación y modo de transporte (ferrocarril, autobús, vehículo privado y AVE).
- Tiempo de recorrido a recorrer en cada relación y modo de transporte (ferrocarril, autobús, vehículo privado y AVE).
- Tiempo de acceso y dispersión a recorrer en cada relación y modo de transporte (ferrocarril, autobús, vehículo privado y AVE). Por defecto, se asume 60 minutos para el ferrocarril, el autobús y el AVE, y 0 minutos para el vehículo privado.
- Precio del viaje a recorrer en cada relación y modo de transporte (ferrocarril, autobús, vehículo privado y AVE).

Con los datos de partida antes señalados, y suponiendo las hipótesis consideradas previamente en la determinación del ACB, se está en disposición de obtener los siguientes resultados:

- Beneficios por reducción de accidentes.
- Beneficios por reducción de ruido.
- Beneficios por reducción de polución del aire.
- Beneficios por reducción del cambio climático.
- Costes de capital, desagregados en:
 - Construcción de la infraestructura.
 - Material rodante.
- Costes de funcionamiento, desagregados en:
 - Mantenimiento de infraestructura.
 - Mantenimiento del material rodante.
 - Energía.
 - Personal.
- Recaudación por venta de viajes.
- VAN social según la variación compensatoria.
- VAN social según la variación equivalente.

- VAN financiero.

Es posible realizar análisis de sensibilidad a las variables críticas, como por ejemplo (de forma no exhaustiva), las siguientes:

- Tasa de descuento.
- Crecimiento interanual del PIB, al que se encuentra vinculada la demanda de viajeros.
- Elasticidad demanda-renta, ligado a la demanda de viajeros.
- Coste de construcción.

Conforme a la configuración actual de la hoja de cálculo desarrollada, la realización del ACB para una red exige la introducción de los datos para cada uno de los tramos, en hojas de cálculo independientes, debiéndose posteriormente agregar los datos.

Se proporciona la desagregación de costes y beneficios, agregados en el periodo de evaluación considerado, siendo posible analizar la desagregación anualmente.

Aunque el periodo temporal analizado para el ACB es, por defecto, de 30 años, es fácilmente modificable para ampliar o reducir el citado plazo.

Como principales carencias de la hoja de cálculo, cabe señalar que:

- No proporciona niveles de riesgo asociados a los resultados.
- No cuantifica la disminución del coste de mantenimiento de los vehículos privados.
- No cuantifica los beneficios asociados a la disminución de la congestión viaria.
- No cuantifica los beneficios asociados al consumo de energía.

Respecto al análisis de software para realizar ACB realizado, se concluye que se han analizado las principales características del software existente para evaluar socialmente inversiones en infraestructuras de transporte, y se han descrito las características de la hoja de cálculo desarrollada en la presente tesis para evaluar las mismas. Se considera que el mismo incluye las características fundamentales, comunes al resto de software analizados, y es una herramienta que facilita la aplicación de ACB a líneas ferroviarias de Alta Velocidad.

Se considera que el requisito de establecer normativamente la obligatoriedad de realizar ACB de las inversiones en infraestructuras de Alta Velocidad debería venir acompañado de la utilización de un software específico, desarrollado por la Administración, al objeto de agilizar, hacer más económico y volver los resultados del

ACB comparables entre sí, evitando así que diferentes hipótesis de partida, o diferentes enfoques metodológicos, pudieran desvirtuar los resultados de los ACB a efectuar, permitiendo así la realización de comparaciones de resultados de ACB de diferentes líneas de Alta Velocidad entre sí.