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

Parte 1:

Metodología para el análisis coste-beneficio de proyectos y políticas de transporte

1 de septiembre de 2020

Autores:

Ginés de Rus	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, FEDEA
Javier Campos	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Daniel Graham	Imperial College (London)
M. Pilar Socorro	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Jorge Valido	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Revisor externo:

Per-Olov Johansson	Stockholm School of Economics

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

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....5

2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE11

2.1. Medición de las variaciones del bienestar social debidas a los proyectos de transporte……... 11

2.2. Demanda de transporte y medición de los beneficios directos de los proyectos de transporte……... 20

2.3. Más allá de los consumidores y los productores: generalización del modelo de análisis coste-beneficio…… 23

3. CRITERIOS DE DECISIÓN Y HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE 26

3.1. Reglas sobre la toma de decisiones en la evaluación económica de los proyectos de transporte…….. 26

3.2. Descuento de beneficios y costes…….. 29

3.2.1. Definición de los valores presentes netos..... 30

3.2.2. Importancia de la tasa social de descuento..... 32

3.3. Tratamiento del riesgo en el análisis coste-beneficio…….. 36

3.3.1. Fuentes de riesgo en la evaluación de proyectos..... 36

3.3.2. Tratamiento del riesgo en la evaluación de proyectos..... 38

3.3.3. Criterios de decisión mediante el análisis de los riesgos..... 39

4. DECISIONES SOBRE LA TARIFICACIÓN Y LA INVERSIÓN EN LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE 42

4.1. Tarificación e inversión cuando no hay otras alternativas de transporte…….. 42

4.1.1. Decisiones de inversión cuando no hay ningún coste económico de los fondos públicos..... 42

4.1.2. Decisiones de inversión cuando hay coste económico de los fondos públicos 45

4.2. Tarificación e inversión cuando hay varias alternativas de transporte……. 47

5. COSTES DE OPORTUNIDAD DE LOS PROYECTOS: PRECIOS DE MERCADO Y PRECIOS SOMBRA.....52

5.1. Coste de los recursos que se necesitan para un proyecto…….. 52

5.2. Precio de mercado y precio sombra de los inputs……. 54

5.3. Coste de oportunidad de la mano de obra……. 57

6. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BIENES PARA LOS QUE NO HAY MERCADO 63

6.1. Métodos para valorar los efectos externos en los proyectos de transporte…….. 63

6.1.1. Técnicas basadas en los mercados relacionados con el transporte..... 64

6.1.2. Técnicas basadas en mercados hipotéticos 66

6.2. Externalidades ambientales y proyectos de transporte…….. 68

6.2.1. Ruido..... 69

6.2.2. Efectos sobre el paisaje 72

6.2.3. Contaminación del aire 74

6.2.4. Cambio climático..... 76

6.2.5. Otros costes medioambientales del transporte..... 78

6.3. Costes de los accidentes y valor estadístico de la vida humana…… 79

6.4. La congestión como externalidad…….. 82

6.5. Valor del ahorro de tiempo……... 87

7. EFECTOS INDIRECTOS Y WIDER ECONOMIC BENEFITS DE LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE 89

7.1. Beneficios directos e indirectos en el análisis coste-beneficio……. 89

7.2. Factores que generan wider economic benefits…… 90

7.3. Incorporación de los wider economic benefits a la evaluación del transporte….. 91

7.4. Vínculo entre la aglomeración, la productividad y el suministro de transporte… 92

7.5. Valoración de los efectos económicos generales de la aglomeración en la evaluación del transporte……... 92

7.5.1. Medición de la variación de la aglomeración..... 93

7.5.2. Estimación de la elasticidad de la productividad con respecto a la aglomeración 94

7.5.3. Valores de elasticidad utilizados para evaluar los beneficios de la aglomeración en el Reino Unido 96

7.5.4. Cuantificación de los beneficios de la aglomeración derivados de los sistemas de transporte 99

8. INFERENCIA CAUSAL PARA LA EVALUACIÓN EX POST DE LAS INTERVENCIONES EN EL TRANSPORTE 102

8.1. Introducción…… 102

8.2. Inferencia causal y evaluación ex post: terminología y conceptos clave…… 103

8.2.1. Terminología y conceptos clave de la inferencia causal 103

8.3. Marco de resultados potenciales para la evaluación causal ex post…… 105
8.4. Modelos estadísticos causales para la evaluación ex post…….. 108
8.4.1. Regresión de resultados 108
8.4.2. Modelos de puntuación de propensión..... 109
8.4.3. Diferencia en diferencias 111

9. GOBERNANZA Y DISEÑO INSTITUCIONAL.....114

9.1. La provisión de infraestructuras de transporte…… 114
9.2. Planificación de las infraestructuras de transporte…….. 116
9.3. Evaluación de las infraestructuras de transporte……. 118
9.4. Regulación de la participación privada en la provisión de infraestructuras de transporte……. 119
9.5. Regulación de los precios…… 122

ANEXO A. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES MANUALES DE ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO EN TRANSPORTE.....125

A.1. Definición del proyecto…… 131
A.2. Métodos para identificar beneficios y costes…… 132
A.3. Medición y agregación de los beneficios y costes…… 135
A.4. Criterios de decisión e interpretación de los resultados…… 136
A.5. Otras cuestiones…… 138

ANEXO B. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS REGLAS DEL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO.....141

REFERENCIAS 147

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier mejora en las infraestructuras o servicios de transporte que se obtenga como resultado de un proyecto de inversión o de un cambio en las políticas existentes en dicho sector puede analizarse, desde el punto de vista económico, como una intervención exógena en los mercados de transporte, que desplaza el equilibrio inicial de la economía desde un punto a otro, generalmente a través de la reducción del precio generalizado (que incluye costes monetarios, de tiempo y otros elementos de desutilidad) que soportan los usuarios. Incluso aquellos proyectos dirigidos a generar nueva capacidad de transporte y, desde luego, cualquier política orientada a los precios —como, por ejemplo, las subvenciones a los pasajeros o las mercancías— pueden ser analizadas como una reducción del coste generalizado del transporte.

Aunque hay diferentes razones que, en principio, podrían justificar este tipo de intervenciones desde el punto de vista de la política pública (por ejemplo, aumentar la accesibilidad, mejorar la seguridad, disminuir la congestión y la escasez o reducir las externalidades ambientales negativas), lo que se trata de dilucidar no es si existen beneficios sociales gracias a la intervención pública, sino si esos posibles beneficios son lo bastante grandes como para compensar el coste de oportunidad de los recursos que se desvían de otros usos para lograr esos beneficios. Este es el reto de la evaluación económica de proyectos y políticas públicas,[1] cuyo objetivo principal es valorar las variaciones que se producen en el bienestar de los individuos que, de manera directa o indirecta, se ven afectados por las repercusiones de cada proyecto en los mercados primario y secundarios.

Los efectos directos pueden determinarse y medirse fácilmente en forma de ahorros de tiempo, aumento en la seguridad y fiabilidad de los desplazamientos y ahorros de costes, entre otros. Sin embargo, la tarea se complica cuando hay efectos importantes que sobrepasan el mercado primario donde se produce la intervención, es decir, los denominados efectos indirectos, y en particular cuando el resto de la economía no está en situación de competencia perfecta y presenta, como de hecho ocurre habitualmente, distorsiones en forma de impuestos, externalidades, desempleo o poder de mercado. La naturaleza espacial del transporte introduce otro posible beneficio debido a los cambios en la proximidad de los trabajadores y la posibilidad de que aumente la productividad a través de diferentes mecanismos, como la reorganización industrial o los cambios en el uso del suelo. Estos son los denominados «*wider economic benefits*», y el riesgo que se plantea en este caso es confundir la reubicación con el crecimiento. La reubicación se

[1] Es un error frecuente confundir la evaluación económica de proyectos (que compara los beneficios sociales con los costes sociales) con su evaluación financiera, donde el interés se centra exclusivamente en los ingresos y los costes de los productores.

produce cuando algunos beneficios del proyecto se producen por una desviación de la actividad económica llevada a cabo en otra parte, mientras que el crecimiento tiene lugar cuando el proyecto añade valor a la economía.

Los analistas disponen de diferentes herramientas para afrontar esta dificultad. Las principales son el análisis coste-beneficio (ACB), el análisis multicriterio y los modelos de equilibrio general computable.[2] Este documento se basa en el ACB, que es la metodología empleada con mayor frecuencia en los principales manuales supranacionales y nacionales de evaluación económica,[3] definida como la cuantificación en valores monetarios de las variaciones incrementales del bienestar debidas a la ejecución de un proyecto en comparación con una hipótesis contrafactual (la economía sin proyecto), con el objetivo último de examinar si la sociedad se encuentra en una situación mejor después de la intervención.

Este procedimiento de evaluación no solo es útil *ex ante*, sino también cuando el proyecto ha concluido (*ex post*) o cuando lleva ejecutándose un período de tiempo suficientemente largo. En estos últimos dos casos, la evaluación no trata de decidir si el proyecto ha de aprobarse o rechazarse, sino si debe modificarse (siempre y cuando se disponga de nueva información), o bien trata de extraer enseñanzas que permitan mejorar otros proyectos en el futuro. En los tres casos, el interés de la evaluación es alcanzar el máximo nivel de bienestar posible para los individuos. En este sentido, el objetivo principal del ACB es ayudar a los responsables de tomar decisiones a establecer prioridades entre distintos proyectos de interés social teniendo en cuenta la contribución computable (en valores monetarios) que estos hacen al bienestar social.

Para la evaluación tanto *ex ante* como *ex post*, y también para los proyectos en curso, el método habitual consiste en volver a efectuar los cálculos que se realizaron en el ACB *ex ante*, pero basando el modelo en valores observados, no predichos. Aunque este procedimiento ofrece bastante información sobre los efectos económicos reales de los proyectos y sobre el modo en que estos efectos se comparan con el análisis *ex ante*, su punto débil es que la evaluación se lleva a cabo con arreglo al mismo modelo, las mismas hipótesis y las mismas simplificaciones de la evaluación *ex ante*.

---

[2] El análisis multicriterio se utiliza principalmente para evaluar proyectos que presentan criterios contradictorios. Por su parte, el equilibrio general computable está ganando reconocimiento en el ámbito del transporte, y se recomienda de manera especial en el caso de megaproyectos donde no se cumplen algunos de los requisitos exigidos para llevar a cabo el ACB. Sin embargo, el uso de los modelos de equilibrio general computable para la valoración económica de proyectos exige que se distinga entre el efecto incremental en el bienestar (método del ACB) y el análisis de las consecuencias económicas de un modelo típico de equilibrio general computable. La medición de los efectos en el valor añadido bruto o en el empleo como principales resultados de estos modelos debe adaptarse para producir algún indicador que pueda interpretarse como medición monetaria de la variación del bienestar debida al proyecto, como ocurre en el caso del ACB.

[3] En el **Anexo A** del presente documento se examinan algunos de estos manuales.

De manera adicional, para llevar a cabo la evaluación *ex post* puede adoptarse un método diferente, basado en la inferencia causal. Este método consiste en aplicar modelos estadísticos a los datos observados antes y después de las intervenciones en el transporte, tratando de estimar el efecto económico incremental del proyecto. Es un método empírico y, aunque sortea los problemas del ACB antes mencionados, tiene que superar otras exigencias estadísticas para revelar adecuadamente los efectos causales. Ambos métodos están vinculados por el mismo interés: ayudar a entender la intervención pública en la economía por medio de inversiones y políticas en materia de transporte. Así pues, en este documento, aunque optamos principalmente por el método convencional del ACB, no lo aplicamos de forma automática. Nuestra argumentación sobre cómo funciona el sector del transporte y sobre cómo afecta la intervención pública al bienestar se apoyará en un método analítico del que se derivan nuestras reglas y criterios de medición, explicando siempre los supuestos y las condiciones en las que nuestros resultados son válidos.

En este contexto, y dentro del objetivo principal de proporcionar el marco para un análisis general de las inversiones en infraestructura de transporte en España utilizando principios sólidamente establecidos y prácticas comúnmente aceptadas en el ACB, el objetivo de las presentes *Directrices* es establecer la metodología para una evaluación más detallada en dos ámbitos de gasto seleccionados. A tal efecto se producirán tres resultados relacionados. En primer lugar, la **Parte I** incluye una metodología general de ACB para la evaluación económica de cualquier intervención pública en el transporte, abarcando también un examen actualizado de las mejores prácticas, y añadiendo un método de base empírica de inferencia causal. En la **Parte II** esta metodología se adapta de manera específica para que pueda aplicarse a la evaluación de inversiones ferroviarias, distinguiendo entre proyectos de alta velocidad y proyectos ferroviarios suburbanos (cercanías), de acuerdo con sus características particulares y los efectos económicos.

El resto del presente documento está dedicado a la **Parte I**, que se ocupa de la aplicación práctica de los principios económicos en la evaluación de proyectos. El informe parte de un modelo analítico que se presenta en detalle en la **Sección 2,**[4] y que considera que los proyectos de transporte —tales como la construcción de nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad o de cercanías— o las políticas de transporte —como, por ejemplo, la concesión de subvenciones a los residentes de las islas para aumentar su movilidad— pueden interpretarse como intervenciones en la economía que afectan al

[4] El modelo se completa en el **Anexo B**, donde el lector puede comprobar de dónde proceden las fórmulas finales que permiten medir los beneficios y los costes. Aunque hemos procurado no ser excesivamente formales, este anexo proporciona una estructura unificada en la que se presenta un conjunto básico de ideas y principios de economía pública que permite construir un hilo conductor que unifica las diferentes partes de la metodología y proporciona un apoyo sólido para la exposición gráfica y verbal, más sencilla e intuitiva, en las demás secciones del documento.

bienestar de diferentes individuos en distintos momentos, en comparación con lo que sería la situación sin proyecto, la cual no equivale necesariamente al *statu quo*, sino a lo que habría ocurrido en caso de no intervención.

Es necesario comparar los equilibrios con y sin proyecto y recrear un mundo alternativo, que es la denominada hipótesis contrafactual. Por consiguiente, los especialistas en ACB deben resolver dos problemas principales. En primer lugar, tienen que construir la hipótesis contrafactual, lo que implica reproducir el mundo sin proyecto, un mundo dinámico que evoluciona sin la perturbación introducida por el proyecto. Como es lógico, no es una tarea fácil, pues el período para llevar a cabo este ejercicio puede ser muy extenso, por lo que los valores de las variables fundamentales cambiarán durante la vigencia del proyecto, y solo algunas de ellas lo harán de un modo predecible. En segundo lugar, el analista debe imaginar el mundo con proyecto, previendo las principales variaciones con respecto a la hipótesis contrafactual que ha elaborado previamente. Los criterios de decisión y los procedimientos para tomar estas decisiones se examinan en la **Sección 3**, mientras que en la **Sección 4** se analiza el modo en que los mecanismos de tarificación pueden afectar a estas decisiones de inversión.

Los efectos previstos cuando se ejecuta el proyecto son, por tanto, resultado de la comparación con la hipótesis contrafactual: cuanto más precisa sea la construcción de la hipótesis contrafactual, más exacta será la estimación de los efectos económicos del proyecto. Por esta razón, es importante presentar todos los supuestos y los datos empleados para llevar a cabo este ejercicio. La transparencia y la evaluación *ex post* pueden ayudar a evitar tanto los errores no intencionados como la manipulación estratégica. Teniendo esto en cuenta, las **Secciones 5 y 6** se centran en el modo de valorar los efectos directos, distinguiendo entre bienes de mercado y no de mercado, mientras que los efectos indirectos y los llamados *wider economic benefits* se definen y se miden en la **Sección 7**.

Como metodología alternativa y, a la vez, complementaria de los métodos convencionales del ACB, la **Sección 8** incluye un análisis sobre el método de la inferencia causal, que tiene por objetivo proporcionar datos empíricos sólidos y verificables acerca de los efectos económicos de la intervención pública. Por último, la **Sección 9** aborda las principales dificultades relacionadas con la gobernanza y el diseño institucional de los procesos generales relativos a la evaluación económica de los proyectos de transporte, así como los problemas de incentivos en este ámbito.

La **Parte II** (en un documento aparte) contiene la metodología del ACB para la evaluación de proyectos ferroviarios, cuyo valor social general puede ser considerable en los corredores congestionados (urbanos o interurbanos) con un volumen de tráfico suficiente para compensar los costes fijos y externos de esta inversión irreversible, pero mucho menor en los corredores con poca demanda. Este informe sigue el documento sobre la metodología general para el ACB en el transporte (*A general methodology for*

cost-benefit analysis in transport), que se describe detalladamente en la **Parte I**, definiendo la metodología del ACB *ex ante* para la evaluación de proyectos ferroviarios, y centrándose, en particular, en las distintas funciones que desempeñan los distintos grupos de interés del sector. El informe destaca la relevancia que tienen la estimación de la demanda a la hora de definir adecuadamente los proyectos ferroviarios, y describe la mayoría de las características técnicas más importantes de estos proyectos, en particular distinguiendo entre los ferrocarriles de alta velocidad y los suburbanos o de cercanías. El informe analiza también la aplicación de la metodología de ACB a cada uno de estos tipos de proyectos ferroviarios, proporcionando incluso un ejemplo hipotético en el que se calcula la demanda del primer año necesaria para garantizar la rentabilidad financiera y económica. Por último, se incluye un examen de algunas de las directrices más recientes en materia de ACB para los ferrocarriles y enumera un conjunto de variables y fuentes de datos que se necesitan para llevar a cabo la evaluación.

La **Parte III** (en un documento aparte) se basa en la idea de que la intervención pública puede ser necesaria para garantizar un nivel adecuado de conectividad y movilidad de los residentes en territorios no peninsulares. Son diversas las políticas que el gobierno puede poner en práctica para lograr este objetivo, y cada una de ellas tiene efectos diferentes en el mercado. Así pues, es necesario elaborar una metodología de ACB para evaluar las consecuencias que cada política alternativa puede inducir en el mercado, determinando quiénes salen beneficiados y quiénes perjudicados, y analizando detenidamente los parámetros fundamentales que permitirían que la política pública tuviera los efectos deseados en el mercado.

Con ese fin, en la **Parte III** se desarrolla un modelo económico que permite determinar cuáles son las variables y los agentes económicos fundamentales que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar diferentes políticas dirigidas a los residentes en los territorios no peninsulares. En el análisis, se examinan dos situaciones extremas en lo referente a la estructura del mercado: o bien una situación en la que hay tantas compañías aéreas operando en la ruta que ninguna de ellas tiene ningún poder de mercado (el caso de competencia perfecta), o bien una situación en la que solo una compañía aérea opera en la ruta y, por tanto, dicha compañía tiene todo el poder de mercado (el caso de monopolio). Cualquier otra situación real que pudiera examinarse en relación con la estructura del mercado se sitúa entre estos dos casos extremos.

En el documento se demuestra que la eficacia de cualquier política destinada a aumentar la conectividad aérea de los residentes depende en gran medida de las características particulares de la ruta, tales como el nivel de competencia, la proporción de pasajeros residentes, la forma de las funciones de demanda de los residentes y los no residentes y los costes de operación de las compañías aéreas, entre otras. Así pues, todo ACB que evalúe los efectos de las transferencias destinadas a los residentes debe llevarse a cabo en función de cada ruta, teniendo en cuenta las características particulares de la misma y

el período de tiempo evaluado. Los modelos empíricos que emplean datos agregados no ofrecen suficiente información para distinguir las rutas en las que la política está resultando eficaz de aquellas en las que la política está produciendo efectos adversos importantes en el mercado.

2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE

2.1. Medición de las variaciones del bienestar social debidas a los proyectos de transporte

El ACB de los proyectos de transporte se aplica normalmente utilizando un pequeño conjunto de reglas de medición que se derivan de manera sencilla de la propia demanda de transporte.[5] Como se ha explicado en la sección anterior, en este documento seguimos la metodología convencional del ACB, pero el análisis del modo en que las intervenciones públicas, a través de sus efectos en la economía, afectan al bienestar se basa en un método analítico orientado a inferir los fundamentos de estas reglas de medición, explicar sus supuestos y aclarar las condiciones en las que resultan válidas. El objetivo último de cuantificar las variaciones incrementales del bienestar derivadas de la intervención pública en los mercados de transporte es evaluar la variación del bienestar de los individuos que viven en la sociedad, y esto implica calcular, en valores monetarios, la magnitud de las ganancias potenciales (ACB *ex ante*) o reales (ACB *ex post*) en comparación con los costes de oportunidad de los recursos desviados de otros usos en favor del proyecto. Nuestro marco de referencia es una sociedad integrada por m individuos, cada uno de los cuales tiene una función de utilidad (bienestar) denotada por U_h, que representa sus preferencias con respecto a un conjunto de actividades de consumo. Ignorando el altruismo y otras complicaciones sobre el tratamiento de las preferencias, consideraremos que, cuanto más alto sea el valor de U_h, mejor será para el individuo h.

En una situación de equilibrio inicial, el bienestar agregado de estos m individuos viene determinado por una función de bienestar social,

$$W = W(U_1,...,U_m), \qquad \textbf{(2.1)}$$

que aumenta con la utilidad de los individuos: es decir, la sociedad sale ganando cuando los individuos están en una situación mejor. Sin embargo, el peso que la utilidad de cada individuo tiene en el bienestar social puede ser diferente, lo que significa que el

[5] Esta sección se basa en el método de Johansson (1993) para el ACB de las variaciones ambientales, y en de Rus y Johansson (2019) para la medición de los efectos de los proyectos de transporte. Nuestro modelo, en esta sección y en el **Anexo B**, incluye la consideración explícita del tiempo en los precios generalizados de los bienes y la correspondiente restricción presupuestaria dada la dotación de tiempo del individuo. Este método permite derivar de forma más rigurosa las reglas del ACB para la evaluación práctica de los proyectos de transporte.

bienestar de algunos individuos puede ser más importante para la sociedad que el bienestar de otros desde el punto de vista de la riqueza, los problemas regionales, etc.

En este escenario de partida, una intervención pública, a través de un proyecto o una política de transporte, desplaza la economía desde el equilibrio vigente hacia otro equilibrio. Una vez que se materializa este efecto exógeno y que se modifica el equilibrio inicial, el reto consiste en estimar la correspondiente variación del bienestar social. Es preciso plantearse dos preguntas: en primer lugar, ¿cómo se ve afectado cada individuo por el proyecto?; y, en segundo lugar, ¿cómo afecta la variación del bienestar de los individuos al bienestar social? Para responderlas, podemos representar formalmente la variación del bienestar social como resultado del proyecto de transporte del siguiente modo:

$$dW = \sum_{h=1}^{m} \frac{\partial W}{\partial U_h} dU_h \quad , \qquad \textbf{(2.2)}$$

donde el primer término del sumatorio es el peso social atribuido a cada individuo en la sociedad y el segundo refleja la variación de la utilidad de los individuos una vez que se ha ejecutado el proyecto. Bajo la hipótesis simplificadora de que los pesos en el bienestar son los mismos para todos los individuos y, por tanto, iguales a uno, podemos centrarnos en evaluar los efectos del proyecto de transporte sencillamente como variaciones de la utilidad de los individuos:

$$dW = \sum_{h=1}^{m} dU_h \, . \qquad \textbf{(2.3)}$$

Cuando la distribución de la renta es óptima o la sociedad tiene a su disposición medios para una redistribución ilimitada y sin costes, las ganancias y pérdidas monetarias pueden sumarse entre los individuos, como se hace en la expresión **(2.3)**. Sin embargo, la redistribución no siempre está exenta de costes ya que, por ejemplo, podría afectar a los incentivos de forma negativa. En tal caso, la distribución real de la renta podría no estar muy alejada de la distribución óptima restringida. Esto significa que la situación real representa una especie de situación óptima restringida y que podríamos simplemente sumar las ganancias y pérdidas entre los individuos. Esto también sería posible si, tras la intervención, los precios relativos se mantienen más o menos constantes.[6]

[6] Véase Johansson y Kriström (2016) para una explicación detallada de los problemas de agregación que pueden surgir y los métodos prácticos para afrontarlo.

Para simplificar, vamos a considerar solo un individuo representativo cuya función de utilidad depende del consumo de todos los bienes y servicios producidos en la economía: $U(x_1,\ldots,x_n)$, donde x_j representa la cantidad consumida del bien o servicio j, siendo $j = 1,\ldots,n$. Este consumidor representativo elige el conjunto óptimo de actividades de consumo que maximizan su utilidad, teniendo en cuenta su restricción presupuestaria, representada por todas las combinaciones de bienes y servicios que se pueden adquirir dados su renta y los precios de mercado. Suponemos que el consumidor también es el beneficiario efectivo de la actividad de todas las empresas de la economía y, por tanto, obtiene ingresos no solo por el pago de sus *inputs* laborales (salario), sino también de los beneficios de las empresas. Así pues, la restricción presupuestaria del consumidor viene determinada formalmente por:[7]

$$\sum_{j=1}^{n} p_j x_j \leq \Pi + wl \,, \qquad \textbf{(2.4)}$$

donde p_j representa el precio de mercado del bien o servicio j, Π denota los ingresos del consumidor derivados de los beneficios de las empresas, w es el salario del individuo y l representa el tiempo dedicado a trabajar.

Aunque cualquier actividad de consumo requiere tiempo, en el caso del transporte este *input* es particularmente importante y debería incluirse de manera explícita en el análisis, ya que los individuos toman sus decisiones de viaje basándose tanto en los precios de mercado como en el coste de oportunidad del tiempo que se necesita para hacer cada viaje. ¿Cómo podríamos introducir este elemento en la restricción presupuestaria dada por la expresión **(2.4)**?

Vamos a representar mediante $\bar{l}$ la dotación de tiempo disponible para el consumidor (por ejemplo, 24 horas al día o 365 días al año) y mediante t_j el tiempo que se necesita para consumir el bien o servicio j. Así, el tiempo dedicado a trabajar es la diferencia entre el tiempo total disponible para el consumidor y todo el tiempo que requieren sus actividades de consumo:

$$l = \bar{l} - \sum_{j=1}^{n} t_j x_j \,.$$

Obsérvese que, si un proyecto de transporte reduce el tiempo de viaje, por un lado, el consumidor tendrá más tiempo para trabajar, lo que, a su vez, dará lugar a la producción de una mayor cantidad de bienes. Por otro lado, el proyecto puede entrañar un coste,

[7] Véase el **Anexo B** para obtener información más detallada sobre la derivación de todas las expresiones intermedias y otros supuestos subyacentes del modelo.

medido como el valor monetario de los bienes a los que debe renunciar el consumidor para que se ejecute dicho proyecto.

Teniendo en cuenta la relación que existe entre la dotación de tiempo y el tiempo dedicado a trabajar, la restricción presupuestaria del consumidor puede reformularse del siguiente modo:

$$\sum_{j=1}^{n} g_j x_j \leq \Pi + w\overline{l}\ , \qquad \textbf{(2.5)}$$

donde $g_j = p_j + wt_j$ representa el precio generalizado de un bien o servicio j y $w\overline{l}$ es el valor de la dotación de tiempo del individuo.

Por ejemplo, en el caso del transporte aéreo, g incluye el dinero (es decir, la tarifa de la compañía aérea, las tasas aeroportuarias, etc.) y el coste de tiempo de los usuarios (tiempo de acceso y egreso, tiempo de espera y/o tiempo a bordo del avión).

En nuestro modelo, el coste de oportunidad del tiempo de viaje es el salario (w). En la práctica, determinar el valor del tiempo se convierte en una cuestión empírica, ya que, para algunos individuos (los que están dispuestos a trabajar más pero no encuentran empleo), el salario podría sobreestimar su coste de oportunidad real, mientras que, para otros, el salario subestima el valor de su tiempo no laboral cuando hay otros beneficios no monetarios que se asocian al trabajo. En la práctica, el valor del tiempo de viaje se suele representar mediante vt_j (y no solo wt_j, como se supone en nuestro modelo por simplicidad).[8]

Por último, cabe destacar que el precio y el valor del tiempo de viaje podrían no ser los únicos parámetros relevantes que afectan a los hábitos de viaje de los consumidores. Cuando las condiciones generales de los servicios de transporte son importantes (en cuanto a confort, fiabilidad, seguridad, etc.), debería añadirse un factor adicional de desutilidad al precio generalizado, que entonces pasaría a ser $g_j = p_j + vt_j + \theta$, donde θ representaría este elemento adicional de desutilidad.

Suponiendo que la restricción presupuestaria se cumple con igualdad, el problema de maximización del consumidor se reduce a lo siguiente:

---

[8] Hay varias razones por las que el valor del tiempo puede diferir empíricamente del salario. Así ocurre cuando tanto el trabajo como el viaje afectan a la utilidad de manera directa (y no solo a la restricción presupuestaria, como ocurre en nuestro modelo), o el tiempo dedicado a trabajar no se ve alterado por el ahorro de tiempo de viaje. En esas situaciones, el valor del tiempo de cada individuo depende del tipo de viaje que lleve a cabo, es decir, el momento en el que se realiza el viaje, las características del viaje (congestionado, repetitivo, etc.), su finalidad (desplazamiento por motivos de trabajo u ocio), su duración, el modo de transporte o la magnitud del ahorro de tiempo (véase Mackie *et al.*, 2001, para obtener información más detallada).

$$\begin{aligned} &\max_{x_1,\ldots,x_n} \; U(x_1,\ldots,x_n) \\ &\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} g_j x_j = \Pi + w\bar{l}\,. \end{aligned} \tag{2.6}$$

La solución del programa de maximización anterior da lugar a las demandas de mercado de todos los bienes y servicios producidos en la economía, dadas por $x_j^* = x_j(g, y^g)$, donde $g = (g_1,\ldots,g_n)$ representa el vector de precios generalizados, e $y^g = \Pi + w\bar{l}$ representa la renta máxima del consumidor, que se compone de la suma de los ingresos derivados de los beneficios de las empresas y el valor de la dotación de tiempo del consumidor.

Cuando el individuo maximiza su utilidad, el coste de oportunidad de una hora de tiempo es el salario w, el valor del tiempo en nuestro modelo, ya que, en la situación óptima, al individuo le resulta indiferente consumir bienes adicionales, o trabajar más y renunciar a las unidades de tiempo correspondientes. Así pues, el salario por hora w es el coste de oportunidad del tiempo con independencia de su uso final (ya sea ocio o consumo). Esta es la puerta de acceso a la medición de los beneficios directos de las mejoras en el transporte: la reducción del tiempo necesario para el transporte aumenta el tiempo disponible para consumir otros bienes o para trabajar (aunque esto puede conllevar un coste, medido como el valor monetario de los otros bienes a los que renuncia el consumidor para que se ejecute el proyecto).[9]

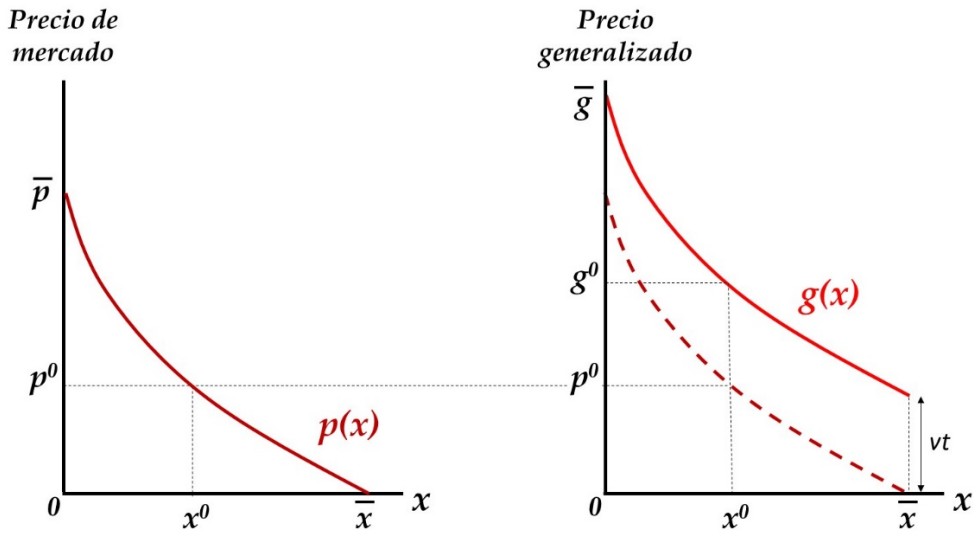
La **Figura 2.1** ilustra la relación entre la función de demanda inversa de un servicio de transporte desde el punto de vista del precio de mercado o del precio generalizado, suponiendo que la distancia vertical entre ellos, vt, es constante[10] y que el valor monetario de la desutilidad θ es igual a cero. Como ya se ha explicado, en nuestro modelo la función de demanda es la solución del programa de maximización del consumidor representativo. En general, la demanda del mercado es la suma horizontal de la demanda de todos los individuos de la sociedad. Por tanto, si x representa el número total de viajes demandados en el mercado, la relación (negativa) entre el número de viajes y el precio generalizado de los servicios de transporte también puede interpretarse como la disposición de los usuarios a pagar por ellos, en función de los precios de mercado y el valor del tiempo de viaje.

---

[9] Como se examina más adelante en la **Sección 7**, en un escenario más complejo donde el carácter espacial de las actividades de transporte se incluye en el modelo, el tratamiento explícito de los cambios de proximidad y ubicación podría dar lugar a aumentos potenciales de productividad y a los denominados *wider economic benefits*, y, por tanto, el ahorro de tiempo (tal y como se mide en nuestro modelo) subestimaría los beneficios sociales de los proyectos de transporte.

[10] Esto implica que, para los servicios de transporte, el tiempo de viaje no se ve afectado por el número de usuarios. La congestión se examinará en la **Sección 6**.

Figura 2.1. Función de demanda de transporte: precio de mercado versus precio generalizado



Estas figuras se utilizan habitualmente para ilustrar el modo de medir los beneficios directos derivados de los proyectos de transporte. Se derivan lógicamente de nuestro modelo, tal y como se describe a continuación.

Sustituyendo las demandas de mercado, $x_j^* = x_j(g, y^g)$, en la función (directa)de utilidad, $U(x_1,\ldots,x_n)$, obtenemos la función de utilidad indirecta del consumidor:

$$U(x_1^*,...,x_n^*) = V(g, y^g)\,, \qquad \textbf{(2.7)}$$

que da como resultado la máxima utilidad que puede alcanzar el consumidor cuando se enfrenta a un vector g de precios generalizados y a la renta máximos del consumidor y^g. Esta función de utilidad se denomina *indirecta* porque los consumidores normalmente se plantean sus preferencias desde el punto de vista de lo que consumen y no de los precios y su renta.

Vamos ahora a analizar los efectos de un proyecto de transporte, definido como una intervención exógena que reduce el precio generalizado del transporte y/o aumenta el número de viajes, ya sea a través de inversiones (por ejemplo, un aumento de la capacidad) u otras políticas (como una tarificación más eficiente, mejores prácticas de gestión, etc.). La variación del bienestar social debida a un proyecto de transporte que implica un aumento marginal del número de viajes se puede medir en valores monetarios del siguiente modo:

$$\frac{dW}{V_y} = \sum_{j=1}^{n}(g_j - wt_j)dx_j = \sum_{j=1}^{n} p_j dx_j\,, \qquad \textbf{(2.8)}$$

donde V_y representa la utilidad marginal de la renta del consumidor. Según esta expresión, la variación del bienestar social debida a un proyecto de transporte que implica una variación marginal del número de viajes es igual a la diferencia entre la disposición a pagar del consumidor por esos viajes adicionales menos el valor del tiempo de viaje, es decir, el precio de mercado. Obsérvese que, si el proyecto de transporte tiene un coste, algunos cambios dx_j pueden ser negativos, ya que representan el valor monetario de la producción y el consumo de otros bienes a los que el consumidor tiene que renunciar para que se ejecute el proyecto.

Esto es exactamente lo que muestra la **Figura 2.1**. Supongamos que x^0 en el eje horizontal corresponde a la situación sin proyecto. Este número de viajes está asociado al excedente de un consumidor particular (la diferencia entre su disposición máxima a pagar por esos viajes y lo que paga en realidad), que está representado por el área situada encima de p^0 en la parte izquierda de la figura (que es igual al triángulo situado encima de g^0 en la figura de la parte derecha). La altura desde x^0 hasta la curva de la demanda es la disposición a pagar (figura de la izquierda) por un viaje adicional, o la disposición generalizada a pagar (figura de la derecha) por un viaje adicional. Por tanto, el valor de un viaje adicional, es decir, dx en la expresión **(2.8)**, es el precio generalizado de un viaje para un nivel determinado de viajes (x^0), tras deducir los costes de tiempo, y este es sencillamente el precio de mercado, $p = g - vt$, siendo $v = w$ en nuestro modelo.

De forma alternativa, el proyecto de transporte puede conllevar una reducción marginal del precio generalizado del transporte. En este caso, la variación del bienestar social viene determinada por:

$$\frac{dW}{V_y} = -\sum_{j=1}^{n} x_j dg_j + dy^g. \qquad \textbf{(2.9)}$$

Si la variación del precio generalizado se debe a una variación marginal del precio de mercado, manteniendo constante el tiempo de viaje, la variación del bienestar social es cero. La razón es que, si todos los mercados de productos y de trabajo están en equilibrio, la variación del precio de mercado sin que se produzca un ahorro de tiempo es solo una transferencia entre consumidores y productores. No hay otros efectos adicionales sobre el bienestar que deban tenerse en cuenta en el resto de la economía.

En cambio, si la variación del precio generalizado del transporte se debe a una variación marginal del tiempo de viaje, manteniendo constante el precio de mercado, la variación del bienestar social viene dada por:

$$\frac{dW}{V_y} = -\sum_{j=1}^{n} x_j w dt_j. \qquad \textbf{(2.10)}$$

Dicho de otro modo, el incremento del bienestar social debido a una reducción marginal del tiempo de viaje es igual al valor del ahorro de tiempo ($dt_j < 0$) multiplicado por el número de viajes que se benefician de esa mejora.

Esto se puede ilustrar en el panel derecho de la **Figura 2.1**. Supongamos que el equilibrio sin proyecto viene dado por (x^0, g^0). Este número de viajes está asociado al excedente de un consumidor particular representado por el área del triángulo situado encima de g^0. La base de este triángulo es x^0, por lo que, cuando el tiempo de viaje disminuye en *dt* en la expresión **(2.10)**, el excedente del consumidor aumenta en un área adicional igual a *wdt* (es decir, la variación de la altura del triángulo), multiplicada por x^0 (es decir, la base del triángulo).

Las expresiones **(2.9)** y **(2.10)** se calculan considerando las variaciones marginales con respecto a la situación sin proyecto. Cuando el efecto de un proyecto de transporte no es marginal, la variación del bienestar social puede plantearse directamente como la variación de la utilidad del consumidor con el proyecto con respecto a la hipótesis contrafactual. Así pues, en nuestro modelo la variación del bienestar social viene determinada por:

$$\Delta W = \Delta V = V(g^1, y^{g1}) - V(g^0, y^{g0}), \qquad \textbf{(2.11)}$$

donde el superíndice 1 indica los valores con proyecto y el superíndice 0 representa los valores sin proyecto y, por tanto, el beneficio social del proyecto se expresa como la diferencia de utilidad del individuo con y sin proyecto.

Aunque esta utilidad no puede medirse, la expresión **(2.11)** resulta muy útil para una derivación práctica de los criterios de medición del ACB. Si se pregunta al individuo cuánto dinero está dispuesto a pagar por disfrutar de los beneficios derivados de la reducción del precio generalizado del transporte debido al proyecto, obtendremos la medición monetaria de la variación de la utilidad. Es lo que se denomina «variación compensatoria» (*CV*), que también puede interpretarse como la cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a pagar para que el gobierno aprobara el proyecto. Cuando la *CV* se resta de la renta del individuo, a este le resulta indiferente la situación con y sin proyecto, tal y como se expresa en la siguiente fórmula:

$$V(g^1, y^{g1} - CV) = V(g^0, y^{g0}). \qquad \textbf{(2.12)}$$

Si el proyecto entraña costes, la variación compensatoria no solo tiene en cuenta los beneficios del proyecto, sino también los efectos negativos en la utilidad derivados de la desviación de bienes y mano de obra desde otros usos (el coste del proyecto). Por consiguiente, la variación compensatoria representa la variación en la disposición a pagar (*WTP*) debida a los beneficios del proyecto menos la disposición a aceptar los

bienes y la mano de obra absorbidos por el proyecto. Por tanto, el valor social neto de la intervención pública es el siguiente:

$$\Delta W = CV = \Delta WTP - \Delta \text{Recursos}. \qquad \textbf{(2.13)}$$

Curiosamente, el ahorro de tiempo, que es el principal beneficio de muchos proyectos de transporte, puede considerarse como un aumento de la disposición a pagar o como una variación positiva de los recursos. Esto no es importante, aunque, teniendo en cuenta la posición de una curva de demanda generalizada, la variación del precio generalizado del transporte con proyecto aumenta la cantidad y, por tanto, se produce una variación de la disposición a pagar por la cantidad de demanda inducida. Para el tráfico existente, la disposición a pagar (incluido el tiempo) no ha variado, por lo que podemos considerar que el valor del ahorro de tiempo es una variación (positiva) de los recursos.

Supongamos que se pregunta al consumidor representativo por su disposición a pagar por el proyecto de transporte con independencia de los efectos en sus ingresos derivados de los beneficios de las empresas. Entonces, la disposición máxima a pagar, CV, que se define en la expresión **(2.12)**, y la nueva disposición parcial, representada por CV^P, vienen determinadas por:

$$CV = CV^P + \Delta PS, \qquad \textbf{(2.14)}$$

donde ΔPS representa la variación en los beneficios de las empresas debido al proyecto de transporte. Si el efecto rento no es muy importante, CV^P puede obtenerse de forma aproximada mediante la variación del excedente del consumidor (CS)[11], y entonces:

$$\Delta W = CV \approx \Delta CS + \Delta PS, \qquad \textbf{(2.15)}$$

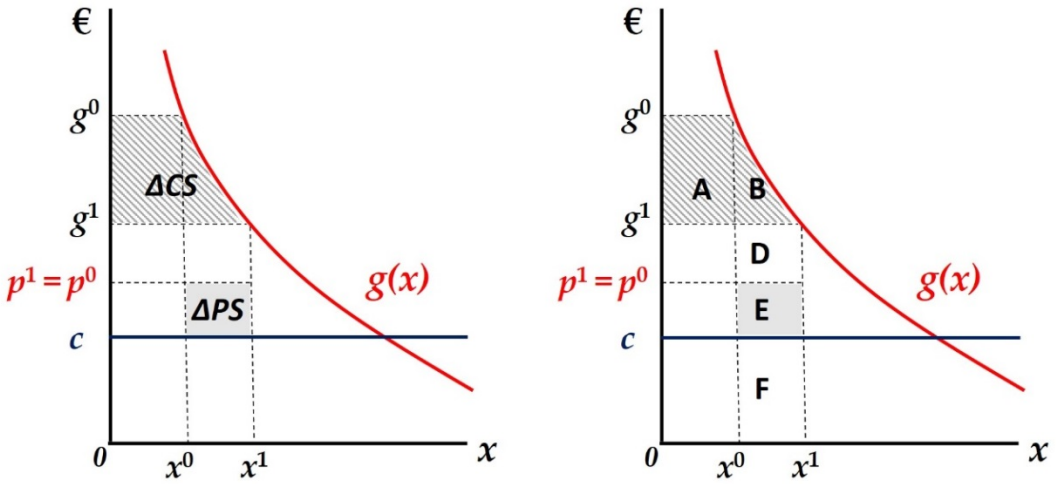
es decir, las variaciones del bienestar social pueden obtenerse de forma aproximada sumando las variaciones de los excedentes de los agentes afectados por el proyecto.

[11] El error relativo de usar la variación del excedente del consumidor en lugar de CV^P es pequeño si la elasticidad-renta de la demanda, o la proporción de la variación del excedente del consumidor con respecto a la renta, es lo suficientemente pequeña (Willig, 1976).

2.2. Demanda de transporte y medición de los beneficios directos de los proyectos de transporte

Tras presentar el modelo que justifica los principios económicos utilizados para medir las variaciones del bienestar social asociadas a los proyectos de transporte, pasamos a exponer las reglas básicas que se usan normalmente en el ACB para medir estas variaciones en la práctica. Para simplificar, ilustraremos este análisis con un proyecto de transporte sin costes de inversión. A fin de ilustrar el modo de calcular la variación del bienestar social debida a un proyecto de transporte de esas características, vamos a considerar la situación descrita en la parte izquierda de la **Figura 2.2**, donde $g(x)$ representa la función inversa de demanda del mercado para una actividad de transporte en relación a su precio generalizado. El equilibrio inicial es (g^0, x^0) y los costes marginales de operación son constantes e iguales a c.

Figura 2.2. Variación del bienestar social debido al cambio en la duración de los viajes



Supongamos que, debido al proyecto de transporte, el tiempo de viaje disminuye. Por tanto, el precio generalizado del transporte se reduce a g^1, mientras que el precio de mercado se mantiene en su nivel inicial, $p^1 = p^0$; y el número de viajes aumenta a x^1. Según la expresión **(2.15)**, la variación del bienestar social es la suma de las variaciones del excedente del consumidor y el excedente del productor, representados por las áreas correspondientes, que pueden calcularse fácilmente mediante el supuesto habitual de aproximación lineal entre los precios generalizados iniciales y finales.[12]

[12] Véase Harberger (1967), Neuberger (1971) o Small (1999).

Así, la variación del excedente del consumidor puede calcularse de forma aproximada mediante el área del rectángulo $(g^0 - g^1)x^0$, que representa los beneficios del proyecto para los usuarios actuales, y el área del triángulo $(1/2)(g^0 - g^1)(x^1 - x^0)$, que representa los beneficios para los nuevos usuarios (demanda desviada y generada). Sumando las dos áreas, obtenemos la denominada «regla de la mitad»:

$$\Delta CS \approx \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(x^0 + x^1), \qquad \textbf{(2.16)}$$

que, en el supuesto de una aproximación lineal entre los precios generalizados iniciales y finales, es aproximadamente igual al área rayada de la **Figura 2.2**.

En este caso, la variación del excedente del productor es sencillamente la variación en los beneficios, o la diferencia entre los ingresos y los costes con y sin proyecto:

$$\Delta PS = (p^1x^1 - cx^1) - (p^0x^0 - cx^0), \qquad \textbf{(2.17)}$$

que coincide con el área sombreada de la **Figura 2.2**.

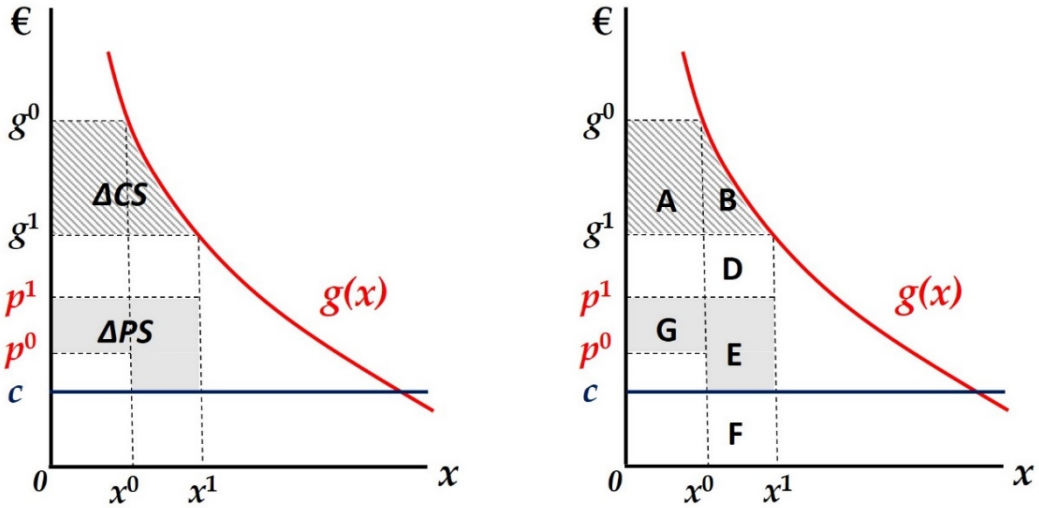
Por otro lado, y mediante la expresión **(2.13)**, los efectos del proyecto sobre el bienestar social también se pueden medir por las variaciones en la disposición a pagar y las variaciones en el uso de los recursos, como se muestra en el panel derecho de la **Figura 2.2**. La variación en la disposición a pagar del consumidor debida al proyecto viene dada por el aumento en la disposición de los usuarios a pagar por los nuevos viajes, $(x^1 - x^0)$. Sumando los precios de reserva de los nuevos viajes, obtenemos las **áreas B, D, E** y **F**. A estas áreas hay que restar los recursos necesarios para obtener esos beneficios: **área D** (el valor del tiempo invertido en los nuevos viajes) y **área F** (el coste de operación de los nuevos viajes). Por último, debemos sumar un nuevo beneficio representado por el **área A**: el valor del ahorro de tiempo para los viajes existentes. Así, la variación del bienestar social debida al proyecto de transporte viene dada por:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \Delta WTP - \Delta\text{Recursos} = \\ &= B + D + E + F - (D + F - A) = \\ &= A + B + E. \end{aligned} \qquad \textbf{(2.18a)}$$

Obsérvese que ambos métodos producen el mismo resultado. Por último, puede darse el caso de que el proyecto de transporte esté representado por la situación descrita en la **Figura 2.3**. En este caso, el proyecto implica una reducción del precio generalizado de g^0 a g^1, pero ahora esta reducción en g no es simplemente igual al ahorro de tiempo, ya que la reducción del tiempo de viaje va acompañada de un aumento del precio de mercado de p^0 a p^1.

Aplicando la regla de la mitad, la variación del excedente del consumidor en la expresión **(2.16)** está ahora representada por el área rayada del panel izquierdo de la **Figura 2.3**. Sin embargo, en este caso la variación del precio de mercado aumenta los ingresos procedentes de los viajes existentes, $(p^1 - p^0)x^0$ sin afectar a los costes de operación. La correspondiente variación de los beneficios procedentes de los nuevos viajes es igual a $(p^1 - c)(x^1 - x^0)$, y la variación total del excedente del productor viene dada por el área sombreada.

Figura 2.3. Variación del bienestar social debido a cambios en el tiempo y el precio de mercado



El panel derecho de la figura ilustra la medición de las variaciones del bienestar según la expresión **(2.13)**. Una vez más, la variación en la disposición a pagar (*WTP*) de los consumidores debida al proyecto viene dada por la disposición adicional a pagar por los nuevos viajes, $(x^1 - x^0)$. Sumando los precios de reserva de todos los nuevos viajes, obtenemos las **áreas B, D, E** y **F**. A estas áreas hay que restar los recursos necesarios para obtener esos beneficios: **área D** (el valor del tiempo empleado en los nuevos viajes) y **área F** (el coste de operación de los nuevos viajes). Luego, debemos sumar nuevos beneficios dados por las **áreas A** y **G**. Ambas áreas representan el valor del ahorro de tiempo para los viajes existentes. Así, la variación del bienestar social debida a este proyecto viene determinada finalmente por:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \Delta WTP - \Delta \text{Recursos} = \\ &= B + D + E + F - (D + F - A - G) = \\ &= A + G + B + E. \end{aligned} \qquad \textbf{(2.18b)}$$

Como era de esperar, ambos métodos vuelven a dar el mismo resultado.

2.3. Más allá de los consumidores y los productores: generalización del modelo de análisis coste-beneficio

Por último, las expresiones **(2.11)** a **(2.15)** pueden generalizarse para incluir otros grupos de interés en la evaluación económica de los proyectos de transporte. Estos grupos son los trabajadores, los contribuyentes y los individuos afectados por las externalidades del transporte. Este último grupo se denominará «resto de la sociedad». Debe recordarse que un individuo puede pertenecer a varios grupos y que, de hecho, sería habitual pertenecer a todos ellos. La desagregación se hace con fines ilustrativos y, más adelante, por consideraciones de equidad.

Según Johansson (1993), la función de utilidad indirecta del individuo pasa a estar determinada por $V(p, t, w, \Pi, \tau, z)$, donde $p = (p_1,\ldots,p_n)$ es el vector de los precios de mercado, $t = (t_1,\ldots,t_n)$ es el vector del tiempo que se necesita para consumir cada bien o servicio, w es el salario de los trabajadores, Π son los beneficios de las empresas, τ es un impuesto por unidad de producción, y z representa un conjunto de recursos naturales.

En este escenario, la variación del bienestar social debida a un proyecto de transporte (que conlleva una reducción del precio generalizado del transporte) viene determinada por:

$$\Delta W = \Delta V = V(p^1, t^1, w^1, \Pi^1, \tau^1, z^1) - V(p^0, t^0, w^0, \Pi^0, \tau^0, z^0), \qquad \textbf{(2.19)}$$

y, si usamos el concepto de la variación compensatoria, tenemos que:

$$V(p^1, t^1, w^1, \Pi^1, \tau^1, z^1 - CV) = V(p^0, t^0, w^0, \Pi^0, \tau^0, z^0), \qquad \textbf{(2.20)}$$

siendo:

$$CV = CV^P + \Delta PS + \Delta WS + \Delta GS + \Delta RS, \qquad \textbf{(2.21)}$$

donde CV^P puede calcularse de forma aproximada mediante la variación del excedente de los consumidores, ΔPS es la variación del excedente de los productores, ΔWS se refiere a la variación del excedente de los trabajadores, ΔGS es la variación del excedente de los contribuyentes, y ΔRS es la variación del excedente del «resto de la sociedad».

La variación del excedente de los consumidores se calcula con la regla de la mitad teniendo en cuenta los precios de mercado (incluyendo los impuestos), como en la expresión **(2.16)**. Sin embargo, la variación del excedente de los productores debe modificarse para incluir los impuestos.

$$\Delta PS = (p^1x^1 - c^1x^1 - \tau^1x^1) - (p^0x^0 - c^0x^0 - \tau^0x^0). \qquad \textbf{(2.22)}$$

El caso del excedente de los trabajadores podría ser importante en la evaluación de políticas como la privatización de las empresas públicas. En general, y suponiendo que el proyecto sometido a evaluación no modifica los salarios (o que solo los modifica de forma marginal), la variación del excedente de los trabajadores vendrá dada por los nuevos trabajadores que se necesitan para el proyecto. Para simplificar, y dejando el tratamiento de los costes laborales para la **Sección 5**, el excedente de un trabajador particular es igual al salario menos el coste de oportunidad del trabajador. A este respecto, cabe recordar que el coste de oportunidad del trabajador no coincide necesariamente con el coste de oportunidad social. La aplicación estricta de uno de los dos métodos que figuran en la expresión **(2.23)** reduce el riesgo de que se cometan errores en la medición.

El excedente del resto de la sociedad es la valoración de las externalidades menos la compensación recibida por estas (por ejemplo, pagos realizados por la autoridad aeroportuaria para el aislamiento acústico de las ventanas de las viviendas afectadas), como se analizará en la **Sección 6**.

Por último, sumando todos los excedentes, las transferencias de renta se anulan entre sí y el resultado es, de nuevo, igual a la variación de la disposición a pagar menos el valor de los bienes y la mano de obra desviados de otros usos y los efectos externos negativos (o positivos) asociados al proyecto:

$$\begin{aligned} \Delta W &= \Delta CS + \Delta PS + \Delta WS + \Delta GS + \Delta RS = \\ &= \Delta WTP - \Delta \text{Recursos}. \end{aligned} \qquad \textbf{(2.23)}$$

De la expresión **(2.19)** a la **(2.23)**, el individuo proporciona un valor (*CV*), que mide en términos monetarios la variación de la utilidad cuando se implementa el proyecto. Cuando el proyecto se financia mediante impuestos distorsionantes (por ejemplo, impuestos sobre la renta o impuestos indirectos), el excedente perdido en la economía debe tenerse en cuenta en la evaluación del proyecto. El impuesto aumenta el precio y reduce la cantidad, y, aunque los ingresos fiscales recaudados por el gobierno son solo una transferencia, el valor neto de la producción perdida constituye un coste extra del proyecto. Es lo que se denomina pérdida irrecuperable de eficiencia y, en principio, debería incluirse en la respuesta de nuestro consumidor representativo bien informado que revela su disposición a pagar por el proyecto.[13] No obstante, cuando el evaluador emplea la expresión **(2.21)**, lo que está haciendo es medir el ahorro de tiempo, el ahorro

[13] La pérdida irrecuperable de eficiencia depende del impuesto que se recaude o de la actividad que se haya excluido para financiar el proyecto (véase Johansson y Kriström, 2019).

de costes de operación, el aumento de la seguridad y otros factores, sin preguntarle al individuo nada que tenga que ver con la *CV* en la expresión **(2.20)**. Así pues, el coste marginal de los fondos públicos debe incluirse en la evaluación de los proyectos de transporte que no generen ingresos suficientes para cubrir sus costes.

La distinción entre diferentes agentes que se hace en la expresión **(2.23)** no implica que estos sean necesariamente los beneficiarios finales de la mejora del transporte. La existencia de factores fijos, como el suelo, aunque no cambia el valor del resultado final de la ecuación **(2.23)**, puede modificar por completo la distribución del excedente social. Es bien sabido que el suelo puede capitalizar la mayoría de los beneficios derivados de las mejoras del transporte. En el caso de una oferta infinitamente elástica de trabajadores homogéneos, el excedente de cada grupo en la expresión **(2.23)** sería cero y los propietarios de los terrenos se llevarían el excedente total mediante el aumento de los precios del suelo. Esto conduce a una conclusión práctica: es más fácil calcular la variación en la disposición a pagar y la variación de los recursos que la aparente distribución del excedente neto.

Además, Collier y Venables (2018) han demostrado que, con heterogeneidad tanto en la productividad laboral como en la demanda de vivienda, los trabajadores pueden obtener una parte importante del excedente. La consecuencia para la evaluación económica de las mejoras del transporte es que, aunque el proyecto aumente los valores del suelo en los lugares afectados por la mejora, solo en algunos casos extremos el incremento de esos valores reflejaría los beneficios totales de los proyectos, ya que una parte de esos beneficios va a parar a los trabajadores.

Así pues, la conclusión de que los beneficios del transporte podrían medirse en un mercado del suelo competitivo cuando este mercado no se ve afectado por burbujas especulativas ni otros factores exógenos solo se cumple en determinadas condiciones. Lo que sí es cierto, en cualquier caso, es que el evaluador del proyecto debería tener sumo cuidado de evitar el uso combinado de los tres métodos posibles: la variación de los excedentes, la variación en la disposición a pagar y los recursos, o el aumento de los precios del suelo.

Los procedimientos para medir los efectos que producen en el bienestar las mejoras del transporte obtenidas en esta sección ignoran la posibilidad de que se produzcan efectos indirectos importantes aparte de las transferencias y la reubicación, e incluso la presencia de los llamados *wider economic benefits*. El carácter espacial del transporte crea otros beneficios derivados del aumento de la productividad mediante diferentes mecanismos, como la reorganización industrial o los cambios en el uso del suelo. No obstante, las indicaciones sobre el cálculo del excedente social mediante la expresión **(2.23)** siguen siendo válidas. En la **Sección 7** se analizan los beneficios económicos indirectos y los *wider economic benefits*.

3. CRITERIOS DE DECISIÓN Y HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE

3.1. Reglas sobre la toma de decisiones en la evaluación económica de los proyectos de transporte

El ACB es la principal herramienta utilizada por los economistas para adoptar decisiones racionales sobre proyectos de transporte. Por lo general, para tomar estas decisiones se deben identificar, valorar y agregar beneficios y costes de diferente naturaleza, resumiéndolos en un único valor que englobe toda la información pertinente relacionada con el proyecto objeto de evaluación. Este proceso de comparación requiere dos elementos: determinar el punto de referencia (lo cual se relaciona con la definición del proyecto y con el hecho de que el ACB se lleve a cabo antes, durante o después de la ejecución del mismo) y normalizar los elementos que se están comparando, lo que implica una homogenización intertemporal de los beneficios y los costes.

En este contexto, tomar decisiones racionales consiste, sencillamente, en buscar la mejor (más eficiente) asignación de los recursos, y la consecuencia inmediata es que la sociedad solo debería optar por aquellos proyectos de transporte que conllevaran mejoras en el sentido de Pareto, esto es, en los que el bienestar social aumenta porque al menos un individuo está en una situación mejor, sin que ningún otro empeore. Sin embargo, los proyectos conllevan que haya individuos que ganan y otros que pierden. Por ejemplo, construir una nueva carretera o mejorar una ya existente reduce el tiempo de viaje para algunos individuos, pero también afecta al bienestar de los residentes en las zonas adyacentes o puede perturbar los flujos generales del tráfico y causar congestión.

En estos casos, la mejora de Pareto exige que cualquier individuo que salga perdiendo a causa del proyecto quede plenamente compensado por sus pérdidas. Esto ocurre con poca frecuencia, y el criterio es demasiado exigente para ser aplicado en la evaluación de proyectos. Incluso el mejor proyecto podría hacer que algunos individuos se encontraran en una situación peor. El criterio que se sigue en la práctica es el de compensación de Kaldor-Hicks, que establece que un proyecto debería aprobarse si quienes salen ganando pueden compensar a quienes salen perdiendo y, aun así, encontrarse en una situación mejor. Este criterio implica que los beneficios totales superan los costes totales. No exige una compensación efectiva, razón por la cual también recibe el nombre de criterio de compensación potencial.

Este principio puede trasladarse directamente a la evaluación de proyectos de transporte comparando, en valores actuales, los flujos de los beneficios totales (B) con sus costes totales (C). El valor actual neto social ($VANs$) es, de hecho, el criterio de compensación

potencial utilizado habitualmente. Un VAN_S positivo indica exactamente que quienes salen ganando podrían compensar plenamente a quienes salen perdiendo y que siga habiendo algunas ganancias netas para los ganadores. Teniendo en cuenta que la evaluación se realiza desde el punto de vista del conjunto de la sociedad, la comparación incluye todos los beneficios sociales y costes sociales de todos los individuos que se ven afectados por el proyecto, aun cuando algunos de ellos se encuentren en mercados secundarios distintos del mercado primario.

El responsable de tomar decisiones puede estar interesado no solo en los resultados del VAN_S, sino también en la viabilidad financiera del proyecto (la variación del excedente del productor que tiene lugar en el sector público). Este indicador es el valor actual neto financiero (VAN_F), donde solo se tienen en cuenta los ingresos y los costes de los productores. El VAN_F debería presentarse conjuntamente con el VAN_S, porque muestra el grado de sostenibilidad financiera del proyecto. A veces, la disponibilidad de fondos públicos es limitada, y cuanto más se autofinancie el proyecto, menor será la aportación de los contribuyentes y la necesidad de tributación adicional.

Una de las características más destacadas del ACB en los proyectos de transporte es que, con frecuencia, sus beneficios y costes sociales y privados son diferentes, pero ambos revisten importancia en el proceso de toma de decisiones. Como se discutió en la **Sección 2**, una parte considerable de las ganancias de los usuarios de transporte cuando su precio generalizado disminuye fruto de las mejores condiciones de viaje (debidas, por ejemplo, a la mayor velocidad de los vehículos o a la menor congestión de las infraestructuras) es el valor de los ahorros de tiempo. Los beneficios de estos usuarios se incluyen parcialmente en el excedente del productor si las empresas de transporte son capaces de aumentar el precio para captar parte de dichos ahorros de tiempo. Del mismo modo, el coste de oportunidad social de los *inputs* necesarios para el proyecto no es necesariamente el precio de mercado de esos *inputs*. Por ejemplo, en el caso de la mano de obra, si el desempleo es alto, el coste de oportunidad social de emplear trabajadores adicionales puede ser menor que su precio de mercado. Además, el proyecto puede afectar también a bienes no comercializados, modificando el nivel de ciertas externalidades como la contaminación o el ruido[14].

Dado que estos beneficios y costes se derivan de las variaciones de las condiciones del mercado que se producen si se llevan a cabo determinadas acciones, los proyectos de transporte deben definirse siempre en términos incrementales, es decir, comparando lo que sucede en la situación en la que se ejecuta con una situación alternativa sin proyecto. Esto puede hacerse de distintas maneras; por ejemplo, una hipótesis contrafactual estricta de «no hacer nada» (*do nothing*) supone que, en ausencia del

[14] El modo en que se valoran los beneficios y los costes depende principalmente de que existan o no mercados para ellos. Esta cuestión se analizará detalladamente en la **Sección 5** y la **Sección 6.**

proyecto, no se toma ninguna medida en absoluto, lo que puede resultar adecuado para los proyectos de rehabilitación de la capacidad. Sin embargo, es más frecuente un escenario de «hacer lo mínimo» (*do minimum*), que supone que habrá suficientes inversiones o cualquier otra acción para que la capacidad operativa actual se mantenga en el futuro, mientras que un escenario de «hacer algo (más)» (*do something*) consistiría en valorar cualquier otra intervención alternativa para cumplir los objetivos del proyecto.

Una vez que se han medido correctamente todos los beneficios y costes en valores incrementales, aplicando el criterio de compensación potencial, la evaluación económica de los proyectos de transporte resulta fácil, y el correspondiente criterio de toma de decisiones se puede resumir en dos reglas sencillas[15]:

1. Debería aceptarse cualquier proyecto con un valor actual neto social positivo ($VAN_S > 0$).[16] Si esto ocurre para varios proyectos diferentes (pero comparables), deberían aceptarse todos por orden decreciente de su VAN_S. Si los proyectos representan alternativas mutuamente excluyentes, pero comparables, solo debería aceptarse el que tuviera el VAN_S más alto.

2. Si el valor actual neto financiero es negativo ($VAN_F < 0$) y el responsable de tomar decisiones se enfrenta a restricciones presupuestarias, el proyecto debería: *a*) revisarse para intentar mejorar el VAN_F y reducir el VAN_S (mediante variaciones de los precios o la calidad, por ejemplo), o *b*) aplazarse, si se prevé que mejoren las condiciones de la demanda o de los precios en un futuro próximo, o, en su defecto, *c*) rechazarse. Por supuesto, cuando se introduce el riesgo, se pueden diseñar mecanismos de decisión más complejos, como se discute más adelante.

En definitiva, los enfoques económico y financiero en la evaluación de los proyectos abordan dos cuestiones diferentes pero relacionadas entre sí. La primera es si un proyecto debe llevarse a cabo o no, teniendo en cuenta su contribución al bienestar social. La segunda se refiere a la capacidad del proyecto de generar ingresos por encima de sus costes, lo cual suele ser un elemento relevante para la viabilidad del proyecto. El aspecto financiero también es importante para definir el tipo de participación privada en la construcción, el mantenimiento y la operación del proyecto. Por último, como se ha señalado antes, la evaluación financiera también es fundamental a la hora de determinar

---

[15] Obsérvese que estas reglas son válidas para la evaluación tanto *ex ante* como *ex post*. La única diferencia es que en el primer caso ambas situaciones son hipotéticas, mientras que en el segundo la situación «con el proyecto» ya se ha producido.

[16] Esta decisión se toma con independencia del valor del VAN_F. Sin embargo, si $VAN_S < 0$, el proyecto debe rechazarse siempre, porque sus costes sociales superan sus beneficios sociales y, por tanto, no cumple el criterio de compensación potencial.

las consecuencias del proyecto para las finanzas públicas y sus efectos sobre otras políticas públicas.

3.2. Descuento de beneficios y costes

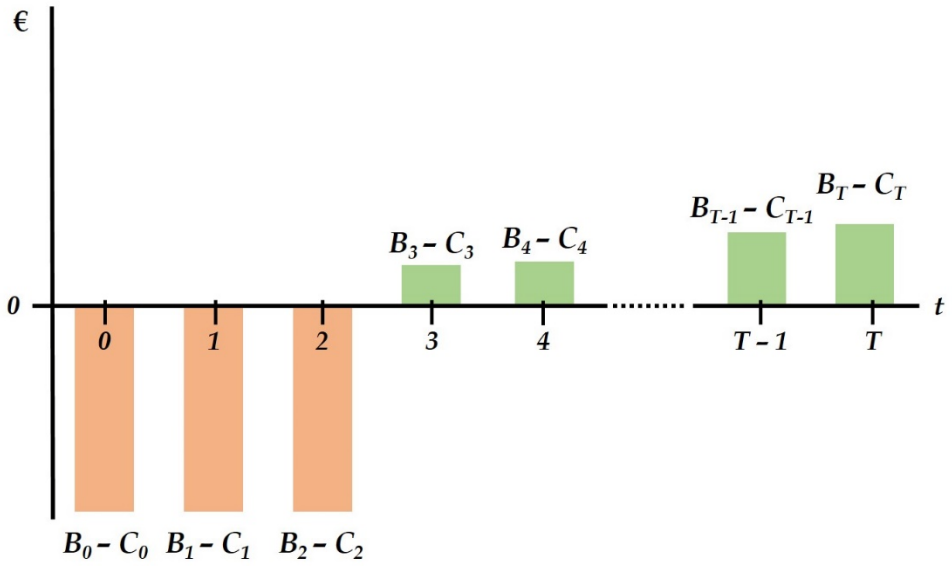
Por norma general, los efectos de los proyectos de transporte se distribuyen en períodos de tiempo discretos (por ejemplo, años). Empiezan con una intervención externa en un mercado de transporte, que puede consistir en una inversión que abarque varios períodos (por ejemplo, la construcción de una nueva infraestructura) o en una política puntual (por ejemplo, modificar el límite de velocidad). Después, durante la vida del proyecto (T períodos) se genera un flujo de beneficios y costes que depende de las características técnicas y económicas en cada caso.[17]

A modo de ejemplo, la **Figura 3.1** muestra el perfil temporal de un proyecto de transporte, donde los valores netos de los beneficios y los costes, $B_t - C_t$, son negativos al principio y se vuelven positivos tras el período de construcción, al generarse beneficios que crecen con el tiempo.[18] Dado que los individuos no asignan el mismo valor a una unidad monetaria independientemente del momento en que la reciben, no podemos limitarnos a sumar estos valores netos a lo largo del tiempo: es preciso homogeneizarlos y compararlos a partir de un mismo punto de referencia. Aunque la elección de esta referencia es arbitraria, se suele preferir el año inicial ($t = 0$), y los beneficios y los costes se descuentan y se añaden posteriormente para obtener un valor actual neto (*VAN*).

[17] Si el horizonte de evaluación es más corto que la vida del proyecto, cualquier valor residual de los activos utilizados en el proyecto se añade como beneficio neto en T.

[18] En esta figura, los costes de inversión son 150 millones de euros, distribuidos a partes iguales en los años 0, 1 y 2. Los beneficios netos empiezan con 10 millones de euros en el año 3, y luego crecen a una tasa anual del 2 % durante el resto de la vida del proyecto.

Figura 3.1. Perfil temporal de un proyecto de transporte: valores no descontados



3.2.1. Definición de los valores presentes netos

Como ya se ha señalado, cuando todos los beneficios y costes sociales se incluyen en la evaluación, el valor actual neto social es igual a la suma de la variación del excedente social o la suma de las variaciones de la disposición a pagar y las variaciones de los recursos. Por tanto, el *VANS* es el principal indicador de la rentabilidad económica del proyecto que se está evaluando:

$$VAN_S = \sum_{t=0}^{T} \delta^t (B_t - C_t).$$

En cambio, cuando solo se tienen en cuenta el flujo de ingresos (*px*) y los costes de los productores (*cx*),[19] desde el punto de vista del excedente del productor, como se describió en la **Sección 2**, se obtiene el indicador de la rentabilidad financiera:

$$VAN_F = \sum_{t=0}^{T} \delta^t (p_t x_t - c_t x_t).$$

En ambos casos, el factor de descuento (δ^t) representa el peso relativo asignado a cada período. Por lo general, este factor adopta la expresión exponencial

[19] Para simplificar, suponemos que los costes marginales de operación son constantes, como en la **Sección 2**.

$$\delta^t = \frac{1}{(1+r)^t} \leq 1,$$

donde $r > 0$ es la tasa social de descuento, lo que supone de manera implícita que las unidades monetarias en el momento presente producen una utilidad mayor que las futuras, y estas se valoran menos cuanto más alejadas están. El divisor, $(1 + r)$, se puede interpretar como el coste de oportunidad de una unidad de consumo en el presente, ya que consumir una unidad hoy implica renunciar a «uno más la tasa de descuento» el año siguiente. Se trata de una propiedad de descuento exponencial que podría penalizar los proyectos cuyos beneficios se realicen a largo plazo y favorecer aquellos proyectos que conlleven costes muy elevados en un futuro lejano.[20]

El ACB se ocupa de las variaciones de los valores reales, y la inflación modifica el valor de las unidades monetarias a lo largo del tiempo. En consecuencia, el evaluador tiene que decidir si las comparaciones intertemporales de los beneficios y los costes se deben realizar en valores nominales o reales. En realidad, la respuesta es muy sencilla: dado que el objetivo de la evaluación, simplemente, dar cuenta de las variaciones del bienestar, la evolución del valor del dinero es irrelevante: lo que importa es la variación de los beneficios y los costes reales. No obstante, aunque resulta indiferente llevar a cabo el ACB en los proyectos de transporte utilizando valores corrientes o constantes (deflactándolos con relación a un año base), en algunos casos puede ser preferible utilizar valores nominales, ya que es así como, a menudo, se indican o se calculan las variables de referencia. Este método también es, por lo general, más fácil de interpretar, en particular desde el punto de vista financiero y en proyectos que cuentan con participación privada. Sea cual sea el método seleccionado, la evaluación debe ser coherente. Si los beneficios y los costes se expresan en valores nominales, ha de emplearse una tasa de descuento nominal (r_N). Si se expresan en valores monetarios del año base, debe utilizarse la tasa de descuento real (r_R). Si φ representa la tasa de inflación, ambas se relacionan por:

$$r_R = \frac{r_N - \varphi}{(1+\varphi)}.$$

El mismo razonamiento sirve cuando los beneficios y los costes se valoran en monedas diferentes: es preciso homogeneizarlos utilizando el mismo tipo de cambio.

---

[20] En estos casos, tal vez sea preferible un factor de descuento hiperbólico, $\delta = 1/(1 + rt)$, con una reducción más lenta de la tasa marginal de preferencia temporal. Aunque no es un procedimiento frecuente en el sector del transporte, algunos manuales recomiendan una tasa social de descuento a largo plazo decreciente para dar más peso a los beneficios y los costes de las generaciones futuras (véase, por ejemplo, HM Treasury, 2018).

3.2.2. Importancia de la tasa social de descuento

La tasa social de descuento es un parámetro fundamental en la evaluación económica de los proyectos de transporte. Su valor no solo modifica el modo en que se comparan los beneficios y los costes a lo largo del tiempo, sino que también puede cambiar la decisión sobre diferentes proyectos. La **Figura 3.2** representa el flujo de beneficios y costes considerados en el ejemplo de la **Figura 3.1**, pero ahora descontados con arreglo a dos tasas de descuento diferentes. Obsérvese que, cuanto más alto es el valor de r, menor es el valor del factor de descuento y, por tanto, menor es el valor de los beneficios netos anuales. En el ejemplo representado en estas figuras, puede deducirse que la suma de los beneficios descontados es lo bastante grande como para compensar los costes de construcción cuando la tasa de descuento es 3,5 % ($VAN > 0$), pero insuficiente en el caso de un factor de descuento del 7 % ($VAN < 0$). Así pues, un proyecto con los mismos beneficios y costes puede resultar deseable desde el punto de vista social en función de la tasa social de descuento. Este ejemplo ilustra el papel fundamental que desempeña la tasa social de preferencia temporal en la selección de proyectos.

También pueden darse casos en los que las variaciones de la tasa de descuento modifiquen la elección entre proyectos, como se muestra en la **Figura 3.3**, donde la función $VAN_A(r)$ corresponde a un *Proyecto A* y $VAN_B(r)$ corresponde a un *Proyecto B*, con beneficios netos más bajos al principio, pero mayores al final. El *Proyecto A* es preferible solo si $r < r^*$.

La figura muestra además cómo el *VAN* disminuye a medida que r aumenta. En algún momento, el *VAN* acaba siendo igual a cero. En este punto, el valor de r se denomina tasa interna de retorno (*TIR*) y constituye otro indicador de la rentabilidad social del proyecto, ya que permite comparar proyectos diferentes con independencia de su duración. Así, la regla para aprobar un proyecto es $TIR > r$, pero, a pesar de esta sencilla formulación, el *VAN* sigue siendo la herramienta de decisión preferida, porque la *TIR* plantea, como mínimo, dos problemas técnicos: puede haber más de una solución a la ecuación $VAN(TIR) = 0$, y no siempre el proyecto con la *TIR* más alta es el que tiene mayor *VAN*.

Figura 3.2. El efecto de distintas tasas de descuento sobre un mismo proyecto

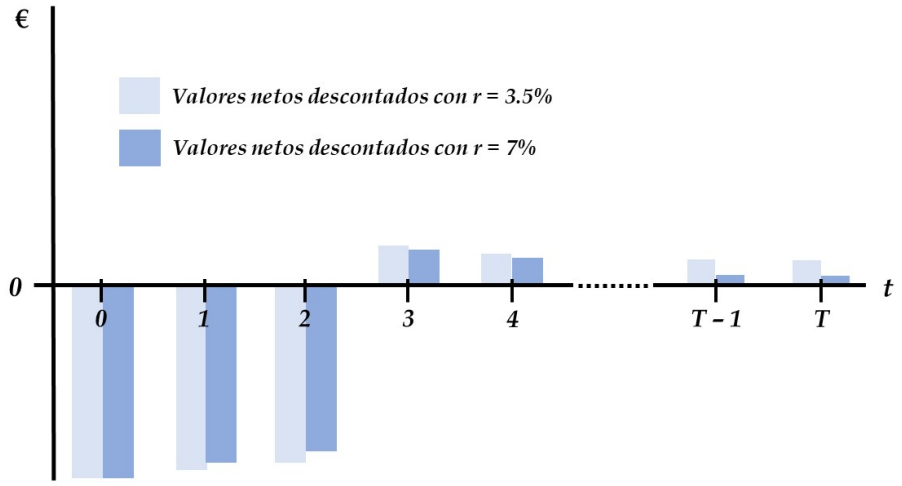
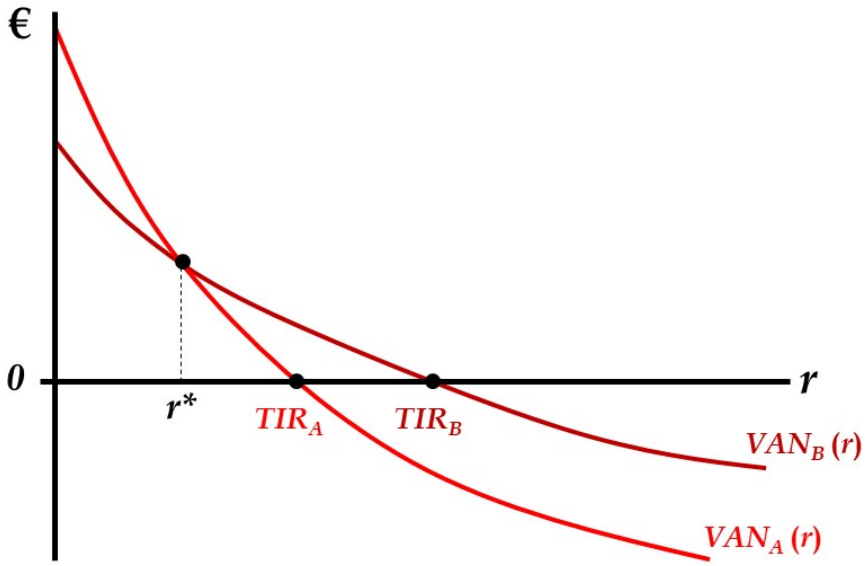


Figura 3.3. El efecto de distintas tasas de descuento en la clasificación de proyectos



Hay una última cuestión relacionada con el descuento que puede resultar interesante en los proyectos de transporte; se trata del caso en que hay que tomar una decisión entre proyectos mutuamente excluyentes y que tratan de resolver el mismo problema, pero con diferentes duraciones. La comparabilidad es una condición necesaria para poder decidir entre estos proyectos, y este requisito puede exigir que se lleve a cabo un proceso previo de homogenización. Se suelen utilizar dos procedimientos para hacer que los proyectos sean comparables. El primero es considerar un proyecto (ficticio) de duración equivalente; por ejemplo, si $T_A = 0{,}5T_B$, podríamos comparar el *Proyecto B* con un «proyecto» que consista en ejecutar el *Proyecto A* dos veces (la segunda vez simplemente replicando el primero inmediatamente después de T_A). El otro procedimiento consiste en calcular los beneficios netos anuales equivalentes para cada alternativa, definidos como

$$\hat{B} = \left[\frac{1}{S(T)}\right] VAN\,,$$

donde $S(T)$ es la suma descontada de una unidad de beneficios netos durante T años.[21] Para un valor de r dado, esta expresión permite comparar el *VAN*s calculado para proyectos mutuamente excluyentes de diferente duración que traten de resolver el mismo problema.

Un *VAN* positivo es una condición necesaria para aceptar un proyecto, pero no es suficiente. Aun en el caso de que haya un único proyecto con un $VAN > 0$ sujeto a la decisión de «aceptar o rechazar», el analista debe tener en cuenta el momento óptimo del proyecto. Cuando la decisión no está sometida a una restricción de «ahora o nunca», la inversión es irreversible y existe incertidumbre sobre las recompensas futuras, es preciso tener en cuenta los beneficios y los costes que entraña el aplazamiento del proyecto. Las circunstancias que pueden justificar el aplazamiento de un proyecto (cuando es técnicamente viable) son de diverso tipo. Por ejemplo, una primera razón es que la demanda esté creciendo y los beneficios sociales derivados de responder a la demanda en el primer año no superen los costes de oportunidad de los recursos que se necesitan. Por tanto, aplazar durante un año un proyecto en el que la inversión inicial venga representada por I y el flujo de beneficios y costes pase de 1 a T es rentable si:

$$\frac{rI}{(1+r)} + \frac{B_{T+1} - C_{T+1}}{(1+r)^{T+1}} > \frac{B_1 - C_1}{1+r}\,,$$

donde el lado izquierdo de la desigualdad representa el valor actual de los beneficios asociados al aplazamiento del inicio del proyecto durante un año y el lado derecho es el

[21] Este valor viene dado por $S(T) = \sum_{t=1}^{T} (1+r)^{-t} = (1/r)\left[1-(1+r)^{-T}\right]$.

beneficio descontado del primer año, que se pierde debido al aplazamiento del proyecto. Si el beneficio neto del año $T+1$ es lo bastante pequeño, la «condición de aplazamiento» es sencilla:

$$r > \frac{B_1 - C_1}{I}.$$

Por tanto, cuando la tasa de descuento es más alta que la tasa de retorno de la inversión en el primer año, la decisión óptima es «esperar».

Posponer un proyecto conlleva un beneficio añadido, pues ofrece la oportunidad de esperar nueva información que pudiera modificar la decisión de invertir. La inversión en infraestructura es irreversible, y normalmente hay incertidumbre en torno a los beneficios y costes futuros. En tales circunstancias, realizar la inversión en el momento actual entraña un coste de oportunidad, dado que implicaría la pérdida del valor económico de la información revelada por el tiempo de espera. Para introducir este elemento en la evaluación, el valor de la opción perdida debería incluirse como coste del proyecto. Otro planteamiento posible es comparar el *VAN* de dos proyectos mutuamente excluyentes («ahora» y «después») y elegir el que presente el *VAN* más alto.

Además de todas estas propiedades técnicas del descuento, la importancia de la tasa social de descuento para el ACB de proyectos de transporte también reside en su interpretación económica. Cuando se selecciona un valor específico para la tasa de descuento, la sociedad está asignando un determinado valor al coste de oportunidad que conlleva la espera del futuro. Aun cuando se pueda convenir una única tasa social de descuento basada en la eficiencia, quedan muchos aspectos que examinar en relación con las dificultades de su valoración concreta, con los impuestos sobre el capital y sus efectos, con las imperfecciones de los mercados financieros o con la propia incertidumbre en torno al futuro.

De hecho, las tasas sociales de descuento utilizadas en la práctica varían considerablemente en todo el mundo, ya que los países en desarrollo aplican en general tasas sociales de descuento más altas (entre el 8 % y el 15 %) que los países desarrollados (entre el 3 % y el 7 %), y los bancos multilaterales de inversión usan tasas de entre el 10 % y el 12 %. La Comisión Europea recomienda una tasa del 5 % para los grandes proyectos en los países beneficiados por Fondos de Cohesión[22] y del 3 % para los otros Estados miembros, aunque se pueden aceptar valores diferentes en función de las tendencias macroeconómicas internacionales (véase el **Anexo A**). Estas variaciones

[22] El Fondo de Cohesión se dirige a los Estados miembros cuyo ingreso nacional bruto per cápita es inferior al 90 % de la media de la Unión Europea. Su objetivo es reducir las disparidades económicas y sociales y promover el desarrollo sostenible.

no solo reflejan los diferentes métodos que adopta cada país para elegir su tasa de descuento, sino también las diferencias en la percepción del coste de oportunidad social de los fondos públicos entre distintos países.[23]

3.3. Tratamiento del riesgo en el análisis coste-beneficio

3.3.1. Fuentes de riesgo en la evaluación de proyectos

La evaluación económica de los proyectos de transporte casi nunca se lleva a cabo en condiciones de certeza. Por el contrario, a menudo es preciso tratar dos tipos de incertidumbre. El primero es la propia incertidumbre relacionada con el proyecto, asociada a contingencias exógenas que aún no se han producido y que afectan al flujo de beneficios y costes. Esto ocurre, por ejemplo, con respecto a la demanda prevista o a la evolución de los precios. Una vez en marcha, los resultados del proyecto también pueden verse afectados por costes imprevistos o cambios institucionales o normativos inesperados.

El segundo tipo de incertidumbre es el relacionado con la propia evaluación, y se refiere al contexto de información limitada en el que se aborda la mayoría de las evaluaciones económicas. Hay parámetros, como el valor del tiempo o algunas elasticidades con respecto en los precios o la renta, que a menudo se estiman o aproximan mediante referencias externas, sin que deban considerarse necesariamente como valores ciertos.

Junto con las variables exógenas, los factores humanos también pueden hacer que un proyecto incumpla las expectativas: a veces se cometen errores en el cálculo de los beneficios netos, en el diseño técnico o incluso en la preparación del presupuesto. En muchos casos, en particular en un contexto de gobernabilidad deficiente y pobre diseño institucional, estos errores suelen crear un sesgo sistemático en favor del proyecto: generalmente se sobreestima la demanda y se subestiman los costes. Es fundamental distinguir si el origen de estas desviaciones sistemáticas se debe a un sesgo optimista o a una manipulación estratégica.[24]

Estas fuentes de incertidumbre implican que, en la práctica, la mayoría de las evaluaciones económicas de proyectos de transporte se realicen de hecho bajo condiciones de riesgo. Los inversores privados incorporan esta circunstancia en su proceso de toma de decisiones en función de su actitud frente al riesgo. Si son neutrales con respecto al riesgo, su decisión puede basarse en el valor actual neto esperado, $E(VAN)$. Para cada año t, definamos el valor neto anual de los beneficios y los costes, B_t

[23] Recientemente, se ha mostrado interés en utilizar los métodos del modelo de valoración de activos financieros, que permiten estimar un riesgo sistemático y específico para cada proyecto.

[24] Esta idea se desarrollará en la **Sección 9**. En Flyvbjerg *et al*. (2018) se analizan más ampliamente los posibles sesgos en la toma de decisiones sobre los megaproyectos.

– C_t, como una variable aleatoria que puede adoptar diferentes valores: $(B_t - C_t)_i$ siendo $i = 1, \ldots, n$. Representemos mediante π_i^t la probabilidad de que, en el año t, el valor neto de los beneficios y los costes adopte el valor $(B_t - C_t)_i$ siendo $i = 1, \ldots, n$. Por tanto, $\sum_{i=1}^{n} \pi_i^t = 1$, para cada año $t = 0, \ldots, T$. Así pues, el valor actual neto esperado viene dado por:

$$E(VAN) = \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{n} \frac{\pi_i^t (B_t - C_t)_i}{(1+r)^t}.$$

En el caso más frecuente de que los responsables de tomar decisiones tengan aversión al riesgo, su utilidad se verá afectada de manera más negativa por la variabilidad de los resultados del proyecto. Aunque el valor esperado de los beneficios netos sigue pudiendo calcularse cada año, la mayoría de los individuos en estas circunstancias están dispuestos a aceptar un valor fijo, inferior al esperado, para evitar el coste de asumir el riesgo. Se trata del denominado «equivalente cierto», cuya diferencia con el valor esperado aumentará con el grado de aversión al riesgo que tenga el inversor. Los equivalentes ciertos se pueden utilizar en la expresión anterior para obtener el *VAN* correspondiente, que pasaría a ser la referencia idónea para aplicar los criterios de decisión. Encontrar los equivalentes ciertos resulta difícil en algunos contextos, y el tratamiento del riesgo en los proyectos privados se basa normalmente en añadir una prima de riesgo a la tasa de interés para la evaluación financiera. Aunque este método reduce la rentabilidad del proyecto, no es lo mismo que utilizar equivalentes ciertos, ya que, por ejemplo, el riesgo puede afectar de diferentes maneras a los beneficios y los costes.

En el caso del ACB de proyectos de transporte, se podría afirmar en principio que, para evitar distorsiones en la asignación de recursos, su evaluación económica debería llevarse a cabo utilizando la misma tasa de descuento ajustada en función del riesgo que en el sector privado. Sin embargo, también es cierto que el sector público está promoviendo continuamente una gran cantidad de proyectos similares e independientes, por lo que, en virtud de la *Ley de los grandes números*, sus resultados tenderán colectivamente a sus valores esperados. Este resultado justificaría que se adoptara el supuesto de neutralidad al riesgo y que siempre se llevara a cabo la evaluación de proyectos públicos utilizando los valores esperados y tasas (sociales) de descuento sin riesgo.

No obstante, el argumento de agrupación de riesgos (risk *pooling*) no puede aplicarse a proyectos muy grandes para justificar la neutralidad al riesgo en el sector público. El teorema de Arrow-Lind refuerza la neutralidad al riesgo apelando a la idea de la

diversificación del riesgo. Si los costes de los recursos utilizados en el proyecto son compartidos de manera equitativa por un gran número de individuos (todos ellos contribuyentes), las consecuencias para sus ingresos individuales serán insignificantes: el coste de soportar el riesgo tiende a cero y el valor esperado de los beneficios netos será cercano al equivalente cierto. Este resultado deja de cumplirse en grandes proyectos que representen una contribución importante para un grupo social determinado o cuando el riesgo es soportado por un grupo pequeño de individuos. En estos casos debería estimarse el equivalente cierto.

3.3.2. Tratamiento del riesgo en la evaluación de proyectos

El método más habitual para tratar el riesgo en la evaluación de proyectos es el análisis de sensibilidad, en cualquiera de sus variantes. Básicamente, esto consiste en comprobar cómo varía el *VAN* cuando varía el valor de una única variable crítica (por ejemplo, el valor del tiempo). Este método *ad hoc* de la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo en función de cada variable (análisis de sensibilidad) o de cada grupo de variables(escenarios).

Cuando se modifican varias variables de forma simultánea, surgen diferentes escenarios. Un ejemplo típico consiste en considerar un escenario «pesimista» (baja demanda y/o altos costes) y un escenario «optimista» (alta demanda y/o bajos costes), que el responsable de tomar decisiones puede comparar con un escenario «de referencia» u otros escenarios aplicando criterios de decisión normalizados. La principal ventaja asociada al uso de escenarios y, en general, al análisis de sensibilidad es que este análisis posee la capacidad de revelar la solidez de los resultados de una manera muy sencilla y directa. La principal desventaja radica en que el procedimiento es relativamente arbitrario y también ignora la posibilidad de correlación entre las variables.

También presenta interés el cálculo de los valores de cambio (*switching values*) como variante del análisis de sensibilidad basado en el cálculo de ciertos umbrales críticos o valores que tendría que adoptar una variable (por ejemplo, la demanda) para que el *VAN* del proyecto llegara a ser cero o, más en general, para que el resultado del proyecto fuera inferior al nivel mínimo de aceptabilidad.

Para los proyectos sujetos a una incertidumbre muy alta en lo que respecta a la demanda, otro procedimiento recomendable es invertir su rol en el proceso de evaluación del proyecto. En lugar de calcular el *VAN* estándar, el evaluador debe calcular la demanda mínima en el primer año del proyecto (dadas una o varias tasas de crecimiento para los beneficios netos anuales) que haga que el proyecto sea rentable desde el punto de vista social. Para ello es preciso resolver la ecuación:

$$VAN(x_{\min}) = 0,$$

que es fácil de calcular y produce un valor crítico (x_{min}) que puede utilizarse para compararlo con los datos reales sobre la población, los pasajeros o las mercancías en el corredor afectado por el proyecto.

La mejor alternativa al análisis de sensibilidad es el análisis de los riesgos, que requiere una modelización completa de todos los determinantes del *VAN*, el cual se convierte a su vez en una variable estocástica con su propia distribución de probabilidad. En general, todo análisis de riesgo debe definir la totalidad de las variables y los parámetros críticos del modelo según la importancia de sus repercusiones en el *VAN*, las probabilidades de su variabilidad futura o la información disponible.

En los proyectos de transporte, estas variables y parámetros suelen incluir, entre otras, las desviaciones en costes o en la predicción de la demanda o los valores del tiempo. Para cada uno de estos, debe seleccionarse una distribución de probabilidad, en función de la información preexistente. Por ejemplo, si solo se conocen los límites superior e inferior, una opción habitual es la distribución uniforme (ya sea discreta o continua), o la triangular (no necesariamente simétrica) si conocemos el valor más probable dentro del rango. Si se conocen (o se estiman) la media y la varianza, otra opción obvia es la distribución normal. El analista puede completar la información disponible haciendo referencia a proyectos similares o usando valores normalizados procedentes de manuales o guías oficiales.

Sin embargo, es preciso señalar que la existencia de una cantidad excesiva de variables complica el modelo: debe tenerse en cuenta la interacción entre ellas a fin de evitar resultados incoherentes (por ejemplo, que la renta de los individuos aumente, pero la demanda de viajes disminuya). Esto exige una modelización explícita de los coeficientes de correlación de las variables críticas seleccionadas.[25] En la práctica, el análisis de riesgo se lleva a cabo con la ayuda de algún programa informático específico. Una vez que se ha modelizado el *VAN* del proyecto, se puede llevar a cabo una gran cantidad de simulaciones extrayendo valores de forma aleatoria de acuerdo con su distribución de probabilidad. Como ya se ha señalado, el resultado es un rango de *VAN*s (esperados) con sus respectivas probabilidades.

3.3.3. Criterios de decisión mediante el análisis de los riesgos

El análisis de riesgo no solo proporciona una información cuantitativa de gran utilidad en lo que respecta al valor actual neto de los beneficios y costes del proyecto; también

[25] Aunque a menudo la naturaleza exacta de tales correlaciones se desconoce y no es posible definirla con demasiada precisión, no debe ignorarse el problema, ya que puede distorsionar los resultados. Esto se debe a que la selección de los valores de entrada obtenidos a partir de las distribuciones de probabilidad asignadas a cada variable es meramente aleatoria. Por tanto, es posible que los *inputs* resultantes generados para algunos escenarios violen la relación que pueda existir entre dos o más variables (Savvides, 1994).

indica la probabilidad que el *VAN* sea positivo o negativo. Al menos dos razones justifican la importancia de esta última información. La primera se da cuando el responsable de tomar decisiones tiene aversión al riesgo y quiere conocer algo más que el signo del *VAN* esperado. Un evaluador que tenga ante sí un proyecto con un *VAN* positivo puede estar interesado en la información proporcionada por el análisis de riesgo. Un proyecto con un *VAN* positivo y un 1 % de probabilidades de obtener un resultado negativo no es lo mismo que un proyecto con el mismo *VAN* esperado y un 40 % de probabilidades de generar un *VAN* negativo (el representado en el lado izquierdo de la **Figura 3.4**). La segunda ocurre cuando el proyecto representa una inversión de tal magnitud que su distribución entre los contribuyentes hace que sus contribuciones individuales sean importantes. Dado que el teorema de Arrow-Lind no se cumple en este caso, es necesario considerar explícitamente el coste de la asunción de riesgos.

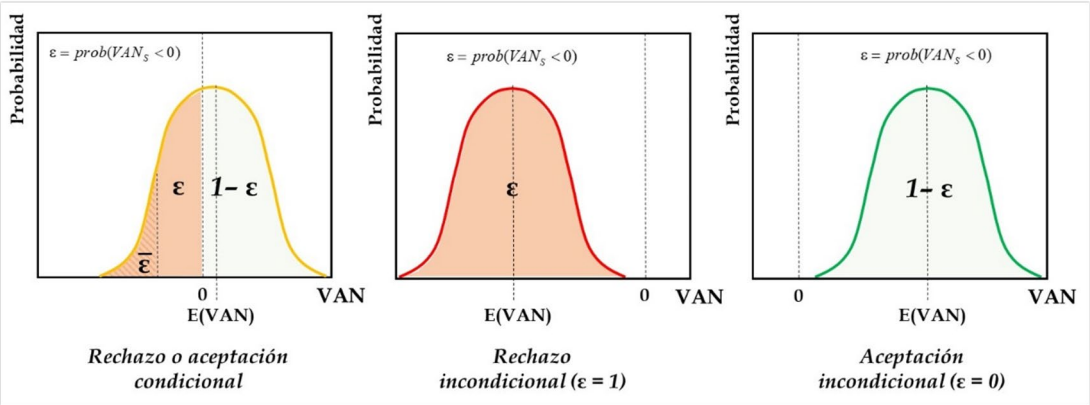
La información proporcionada por el análisis de riesgo también hace posible que se reformulen los criterios de decisión desde el punto de vista de las probabilidades. Consideremos, en primer lugar, que se está evaluando un único proyecto y hay que decidir si se lleva a cabo o se rechaza (o se aplaza). Dado que no existe un valor único para los valores actuales netos sociales y financieros, la decisión debe basarse, en principio, en su distribución de probabilidad completa. Sin embargo, es posible centrarse solo en la probabilidad crítica asociada a los resultados negativos, que se define como $\varepsilon = prob(VAN < 0)$, y suponer al mismo tiempo que existe una probabilidad de referencia exógena, $\bar{\varepsilon}$, por encima de la cual la persona responsable de tomar decisiones no está preparada para aceptar el proyecto. Este valor de referencia debe revelarse de forma implícita o explícita, y será menor cuanto más alto sea el grado de aversión al riesgo del responsable de tomar decisiones.[26] Así pues, el criterio general de decisión en este caso es muy sencillo y siempre estará condicionado a la aversión al riesgo del responsable de tomar decisiones: el proyecto debe rechazarse (condicionalmente) si $\varepsilon > \bar{\varepsilon}$, y aceptarse (condicionalmente) si $\varepsilon \leq \bar{\varepsilon}$.

Esta idea queda ilustrada en el panel izquierdo de la **Figura 3.4**, donde se representa la función de densidad del valor actual neto social obtenido a partir del análisis de riesgo, y se definen consecuentemente las áreas (probabilidades) ε y $1 - \varepsilon$. Si la probabilidad de que el valor actual neto social sea negativo es lo bastante grande en comparación con una referencia exógena $\bar{\varepsilon}$ (tal y como aparece representado), el proyecto debe rechazarse (y viceversa). Los paneles central y derecho de la figura ilustran dos casos extremos: el proyecto debe rechazarse incondicionalmente si $\varepsilon = 1$ (dado que siempre

[26] En el caso de los individuos neutrales al riesgo, las decisiones se tomarán utilizando el criterio $E(VAN) > 0$, como se ha señalado antes. Obsérvese también que el valor de referencia puede diferir, asimismo, cuando se tiene en cuenta el *VAN* social y financiero.

producirá resultados negativos desde el punto de vista social) y aceptarse incondicionalmente si $\varepsilon = 0$ (siempre producirá resultados positivos). En cualquier caso, si el responsable de tomar decisiones está sujeto a restricciones presupuestarias, los proyectos que se han aceptado (condicional o incondicionalmente) deben someterse a un análisis suplementario en lo que respecta a su viabilidad financiera.

Figura 3.4. Criterios de decisión con análisis de riesgo: aceptar/rechazar un proyecto



Cuando se comparan dos o más proyectos, también deben clasificarse de acuerdo con las funciones de densidad de sus valores actuales netos sociales y financieros. Sin embargo, en la mayoría de los casos la comparación puede basarse en dos parámetros únicos: el valor esperado y la varianza (como medición del riesgo vinculado a la variabilidad de los resultados del proyecto). En general, los proyectos con valores esperados del *VAN* más altos y varianzas más bajas deberían elegirse en primer lugar, pero puede haber situaciones en las que la decisión no sea tan clara.

4. DECISIONES SOBRE LA TARIFICACIÓN Y LA INVERSIÓN EN LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE

4.1. Tarificación e inversión cuando no hay otras alternativas de transporte

Para tomar decisiones sobre la aceptación o el rechazo de un proyecto, o sobre su priorización cuando existen diferentes alternativas, siempre se debe tener en cuenta el modo en que las intervenciones externas en los mercados de transporte afectan a los equilibrios sucesivos que se producen en estos y otros mercados correlacionados. Esta idea es poco compatible con la presunción de que los precios son completamente exógenos, por lo que debemos ser conscientes de que la rentabilidad social de todo proyecto puede variar al variar la política de precios. Los precios afectan a la demanda y, por tanto, al importe (o incluso al signo) de los excedentes de los agentes, y determinarán si habrá suficientes ingresos para cubrir los costes. Así pues, cuando se decida si es deseable desde el punto de vista social invertir en un proyecto o no, la evaluación económica debe tener en cuenta el sistema de tarificación que se aplicará (incluido el caso en que no se cobre ningún precio) y si el proyecto necesita o no recurrir al uso de fondos públicos.

A modo de ejemplo, vamos a considerar en esta sección un proyecto de transporte consistente en la construcción de una nueva infraestructura de transporte, partiendo de la hipótesis de que no hay otras alternativas de transporte para resolver el mismo problema de movilidad. En primer lugar, supondremos que no hay coste económico de los fondos públicos, definido como la pérdida en que incurre la sociedad cuando se recauda a través de impuestos distorsionantes. En segundo lugar, analizaremos el papel del sistema de tarificación y el coste económico de los fondos públicos en la decisión de invertir. En todos los casos, supondremos que hay suficiente capacidad para satisfacer la demanda, es decir, que no hay problemas de congestión (abordados en la **Sección 6**).

4.1.1. Decisiones de inversión cuando no hay ningún coste económico de los fondos públicos

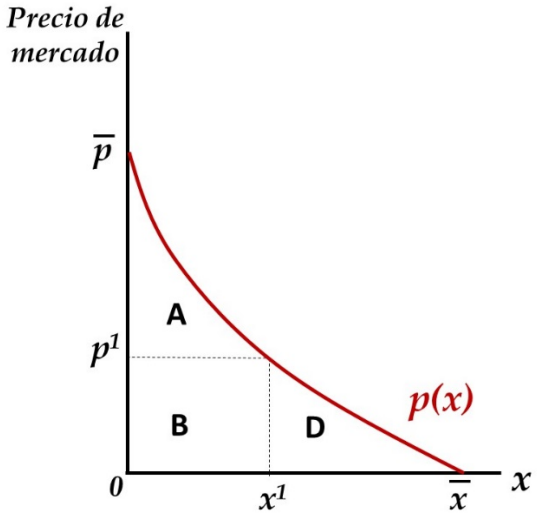
Consideremos la evaluación de una nueva infraestructura de transporte que necesita una inversión inicial representada por I. A fin de ilustrar la importancia que reviste el sistema de tarificación para la decisión de invertir o no, a lo largo de la presente subsección definiremos la variación del bienestar social debida al proyecto como la suma de los excedentes de los consumidores y los productores, sin tener en cuenta el coste de la inversión, $\Delta\overline{W}$.

Por tanto, según los criterios definidos en la **Sección 3**, la nueva infraestructura debería construirse si el aumento neto del bienestar social, $\Delta\overline{W}$, es superior al coste de la inversión, I:[27]

$$\Delta\overline{W} = \Delta CS + \Delta PS > I. \qquad \textbf{(4.1)}$$

Para empezar, vamos a suponer que no hay otras alternativas de transporte y que tanto los costes de operación como los asociados al uso de los fondos públicos son iguales a cero. La **Figura 4.1** representa la función inversa de demanda correspondiente el uso de esta nueva infraestructura de transporte.

Figura 4.1. Precios y bienestar social cuando no hay costes operativos



El aumento del bienestar social debido a este proyecto de transporte depende del sistema de tarificación. Si el acceso a la infraestructura de transporte es gratuito ($p = 0$), la variación neta del bienestar social es igual al aumento del excedente de los consumidores debido al proyecto (determinado por el **área A + B + D**), ya que el excedente de los productores es igual a cero. Aunque en este caso el acceso gratuito es el sistema de tarificación óptimo, es posible que el gobierno esté sujeto a una restricción presupuestaria y sea necesario establecer un precio estrictamente positivo para usar la nueva infraestructura.

[27] Este método simplificado sigue el ejemplo de ACB clásico de Jules Dupuit (reimpreso en Dupuit, 1995) en lo que respecta a los efectos que la construcción de un puente sin peaje tiene sobre el bienestar social.

Si este precio fuera igual a p^1, la variación neta del bienestar social viene dada por el aumento del excedente de los consumidores (**área A**) y el aumento del excedente de los productores (**área B**). Así pues, la rentabilidad social del proyecto depende en gran medida del sistema de tarificación, ya que:

$$\Delta\overline{W}_{p=0} = A + B + D,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=p^1} = A + B.$$

¿Cómo afecta el sistema de tarificación a la decisión de invertir? Si **A + B > *I***, la decisión óptima es aceptar el proyecto, independientemente de que el gobierno tenga previsto cobrar p^1 o permitir el acceso gratuito. En cambio, si **A + B + D < *I***, la decisión óptima es no invertir, con independencia del sistema de tarificación. Curiosamente, podría darse el caso de que **A + B + D > *I*** > **A + B**; es decir, en un sistema de acceso gratuito, habría que construir la infraestructura de transporte, pero si el gobierno tiene previsto cobrar p^1, la decisión óptima desde el punto de vista social es no invertir en dicha infraestructura. Por tanto, la decisión de invertir o no en la nueva infraestructura de transporte puede depender en gran medida del sistema de tarificación que se vaya a adoptar cuando se haya construido la misma.

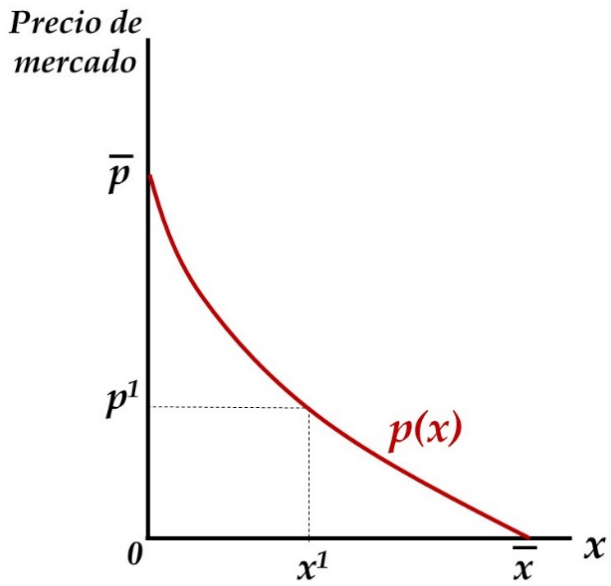
Consideremos ahora que los costes marginales de operación son constantes e iguales a $c > 0$, como en la **Figura 4.2**. Si se permite el acceso gratuito, la variación neta del bienestar social es igual al aumento del excedente de los consumidores, que viene dado por las áreas **A + B + D + E + F + G**, menos la disminución del excedente de los productores, que viene dada por **E + F + G + H**. Así pues, la variación neta del bienestar social es **A + B + D – H**. En cambio, si el gobierno aplica un sistema de tarificación óptimo igual a los costes marginales de operación ($p^0 = c$), la variación neta del bienestar social es solo igual al aumento del excedente de los consumidores (**áreas A + B + D**), dado que, en este caso, el excedente de los productores es igual a cero. Por último, si se establece un precio superior a los costes marginales, $p^1 > p^0$, la variación neta del bienestar social debida al proyecto de transporte viene determinada por el aumento del excedente de los consumidores (**área A**) y el aumento del excedente de los productores (**área B**). Estos resultados pueden resumirse del siguiente modo:

$$\Delta\overline{W}_{p=0} = A + B + D - H,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=c} = A + B + D,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=p^1} = A + B,$$

lo que demuestra que, de nuevo, la decisión óptima de inversión según la expresión **(4.1)** puede depender en gran medida del sistema de tarificación elegido. Supongamos, por ejemplo, que los valores de la figura son tales que **A + B + D > *I***, pero **A + B + D – H < *I*** y **A + B < *I***. En este caso, es óptimo desde el punto de vista social invertir en la construcción de la nueva infraestructura si el gobierno tiene previsto cobrar un precio

igual a los costes marginales de operación, pero el proyecto debería rechazarse si entre las políticas de tarificación se baraja la posibilidad de establecer el acceso gratuito o precios más altos que los costes marginales de operación.

Figura 4.2. Precios y bienestar social con costes marginales de operación constantes



4.1.2. Decisiones de inversión cuando hay coste económico de los fondos públicos

Ahora vamos a considerar que los fondos públicos se obtienen mediante impuestos distorsionantes y, por tanto, hay un precio sombra de los fondos públicos representado por $\lambda_g > 1$. Esto significa que, cuando el gobierno utiliza I unidades monetarias de fondos públicos para construir la nueva infraestructura de transporte, en realidad esta inversión le cuesta a la sociedad $\lambda_g I$ desde el punto de vista de las distorsiones que se generan en la economía cuando se recaudan impuestos para financiar dicha inversión.[28] Sin embargo, si el gobierno cobra un precio positivo por el uso de la nueva infraestructura y recauda ingresos netos iguales a $(p - c)x$, este importe puede emplearse para reducir los impuestos distorsionantes vigentes y, por tanto, la ganancia real para la sociedad es $\lambda_g (p - c)x$.

Por tanto, el aumento neto del bienestar social debido al proyecto de transporte se define como la suma del excedente de los consumidores y el excedente de los productores (sin

[28] Para obtener información más detallada sobre el coste marginal de los fondos públicos, véanse Gahvari (2006) y Dahlby (2008).

tener en cuenta el coste de la inversión), la «condición de aceptabilidad» para la nueva infraestructura pasa a ser:

$$\Delta\overline{W} = \Delta CS + \lambda_g \Delta PS > \lambda_g I \,. \qquad \textbf{(4.2.)}$$

De nuevo, comencemos la discusión suponiendo que no hay costes marginales de operación, como en la **Figura 4.1.** Si se permite el acceso gratuito a la infraestructura de transporte, la única variación neta del bienestar social debida al proyecto es igual al aumento del excedente de los consumidores (**A + B + D**), dado que el excedente de los productores es igual a cero. En cambio, si el gobierno cobra un precio p^1 por el uso de la infraestructura, la variación neta del bienestar social viene dada por el aumento del excedente de los consumidores (**área A**) más el aumento del excedente de los productores (**área B** multiplicada por el precio sombra de los fondos públicos). De nuevo, la rentabilidad social del proyecto dependerá del sistema de tarificación:

$$\Delta\overline{W}_{p=0} = A + B + D,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=p^1} = A + \lambda_g B.$$

¿Cómo afecta el precio sombra de los fondos públicos a la decisión de invesrtir? Si λ_g es lo suficientemente alto, podría ocurrir que **A + λ_gB > λ_g*I* > A + B + D**. En este caso, si se permite el acceso gratuito a la infraestructura de transporte, la decisión óptima desde el punto de vista social es rechazar el proyecto, pero si el gobierno tiene previsto cobrar un precio p^1, la decisión óptima desde el punto de vista social será construir la infraestructura.

Supongamos ahora que los costes marginales de operación son constantes e iguales a *c*, como muestra la **Figura 4.2**. Bajo un sistema de tarificación basado en el acceso gratuito, la variación neta del bienestar social es de nuevo igual al aumento del excedente de los consumidores (**A + B + D + E + F + G**) menos la disminución del excedente de los productores, que viene dada por **λ_g(E + F + G + H)**. Si el precio es $p^0 = c$, la variación neta del bienestar social es solo igual al aumento del excedente de los consumidores (**A + B + D**), porque el excedente de los productores es cero. Por último, si el gobierno cobra p^1, la variación neta del bienestar social viene dada por el aumento del excedente de los consumidores (**A**) y el aumento del excedente de los productores (**λ_gB**). En definitiva, tenemos lo siguiente:

$$\Delta\overline{W}_{p=0} = A + B + D + (1-\lambda_g)(\mathrm{E}+\mathrm{F}+\mathrm{G}) - \lambda_g H,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=c} = A + B + D,$$
$$\Delta\overline{W}_{p=p^1} = A + \lambda_g B.$$

Si el precio sombra de los fondos públicos es lo suficientemente elevado, podría ocurrir, por ejemplo, que $\mathbf{A + \lambda_g B > \lambda_g I > A + B + D}$. En este caso, sería óptimo desde el punto de vista social invertir en la construcción de la nueva infraestructura si el gobierno tiene previsto cobrar precios superiores a los costes marginales de operación, pero la infraestructura de transporte no debería construirse si el gobierno tiene previsto permitir el acceso gratuito o cobrar un precio igual a los costes marginales de operación. Así pues, queda demostrado una vez más que la decisión de inversión puede depender en gran medida del sistema de tarificación.

4.2. Tarificación e inversión cuando hay varias alternativas de transporte

A continuación, examinaremos la relación que existe entre tarificación e inversión a la hora de decidir sobre infraestructuras de transporte alternativas. Las decisiones relativas a la tarificación afectan de forma diferente al bienestar social de los modos de transporte alternativos. Por tanto, cuando se comparan diferentes alternativas de transporte, un sistema de tarificación concreto puede favorecer la creación de una determinada red de transporte, que podría conducir a equilibrios a largo plazo que no serían óptimos con otros sistemas de tarificación. Esta relación entre la toma de decisiones y la tarificación pone de relieve la importancia de planificar los proyectos y el vínculo que existe entre evaluación y tarificación.[29]

Para ilustrar esta idea, consideremos dos regiones conectadas inicialmente por transporte aéreo. Para estas dos regiones el gobierno debe decidir si invertir o no en una nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad, aplicando dos posibles sistemas de tarificación: o bien cobrar un precio igual a los costes marginales a corto plazo, o bien cobrar un precio superior a los costes marginales a corto plazo. Aunque la tarificación igual al coste marginal a corto plazo es la norma general en las infraestructuras de transporte con costes de inversión irrecuperables, se pueden aducir tres razones para desviarse de este sistema de tarificación (Laffont y Tirole, 1993): cuando existe un coste económico de los fondos públicos (el precio sombra de los fondos públicos es superior a uno); cuando los usuarios no revelan su verdadera disposición a pagar por la capacidad con un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo, y cuando la tarificación con arreglo a los costes marginales a corto plazo reduce los incentivos de las empresas para reducir los costes. Por último, también podría haber razones relacionadas con la competencia: cuando los usuarios pagan por el coste íntegro de cada modo de transporte, la competencia intramodal no se ve afectada.[30]

---

[29] Esta subsección se basa en de Rus y Socorro (2019).

[30] También se podrían considerar problemas relacionados con la equidad para justificar que se descarte una tarificación igual a los costes marginales a corto plazo.

En este contexto, mostraremos que el gobierno puede favorecer la construcción de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad eligiendo un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo. A fin de decidir de manera óptima si invertir o no en la nueva infraestructura, el gobierno debe comparar el bienestar social de este proyecto con el bienestar social obtenido en la situación en que las regiones solo están conectadas por transporte aéreo. El bienestar social se define como la suma del excedente de los usuarios, el excedente de los operadores de transporte, y los beneficios derivados del uso de la infraestructura de transporte, menos el coste de oportunidad de la inversión en la infraestructura ferroviaria de alta velocidad. Suponiendo, para simplificar, que los beneficios netos sociales anuales son constantes e iguales a $\overline{B}$, y que el tren de alta velocidad tiene una vida útil infinita, el valor actual neto social que implica la inversión en el tren de alta velocidad se puede formular del siguiente modo:

$$VAN_s = -I + \frac{\overline{B}}{r},$$

donde I es el coste de la inversión en alta velocidad en el año cero, $\overline{B}$ representa los beneficios netos anuales a partir del año 1, constantes durante toda la vida del proyecto, y r es la tasa social de descuento. En este caso, $VAN_s > 0$ implica que $\overline{B} > rI$, donde rI es el coste de oportunidad de la inversión en alta velocidad por año.

De acuerdo con estos supuestos, un VAN_s positivo equivale a cumplir la condición de que es óptimo invertir hoy en lugar de posponer la inversión, como se indica en la siguiente expresión:

$$\frac{B_1}{1+r} > \frac{rI}{1+r},$$

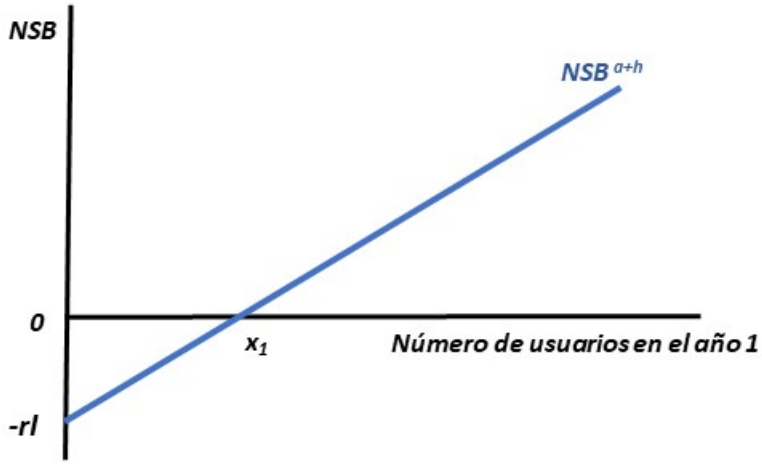
donde B_1 representa los beneficios netos del primer año. Dicho de otro modo, si los beneficios netos durante el primer año son superiores al coste de oportunidad de la inversión en alta velocidad por año, deberíamos construir dicha infraestructura hoy.

La **Figura 4.3** representa la condición anterior. El beneficio social neto (*NSB*) del primer año asociado al proyecto de invertir en una nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad aparece representado en el eje vertical (teniendo en cuenta que las regiones están inicialmente conectadas mediante transporte aéreo). Obsérvese que el *NSB* asociado a esta alternativa es estrictamente creciente en el número de usuarios, x. Cuando $x = 0$, el *NSB* del primer año asociado al proyecto es solo el coste de oportunidad de la inversión de la nueva infraestructura de transporte (rI). La **Figura 4.3** describe una situación en la que, si el número de usuarios en la economía es inferior a x_1, la decisión óptima es no invertir en la infraestructura ferroviaria de alta velocidad y esperar hasta que el número de usuarios aumente. En cambio, si el número de usuarios

es superior a x_1, la decisión óptima es invertir en la nueva infraestructura de transporte y conectar las regiones mediante el transporte aéreo y el tren de alta velocidad.

La pendiente de la función que describe el *NSB* asociado al proyecto de construir la nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad depende en gran medida del sistema de tarificación que elija el gobierno. En particular, cuanto más altos sean los precios por el uso de la nueva infrastructura, más plano será la función que representa el *NSB* del proyecto. Por tanto, si el gobierno pasa de adoptar un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo a un sistema de tarificación con precios superiores a los costes marginales a corto plazo, la función del *NSB* se vuelve más plana.

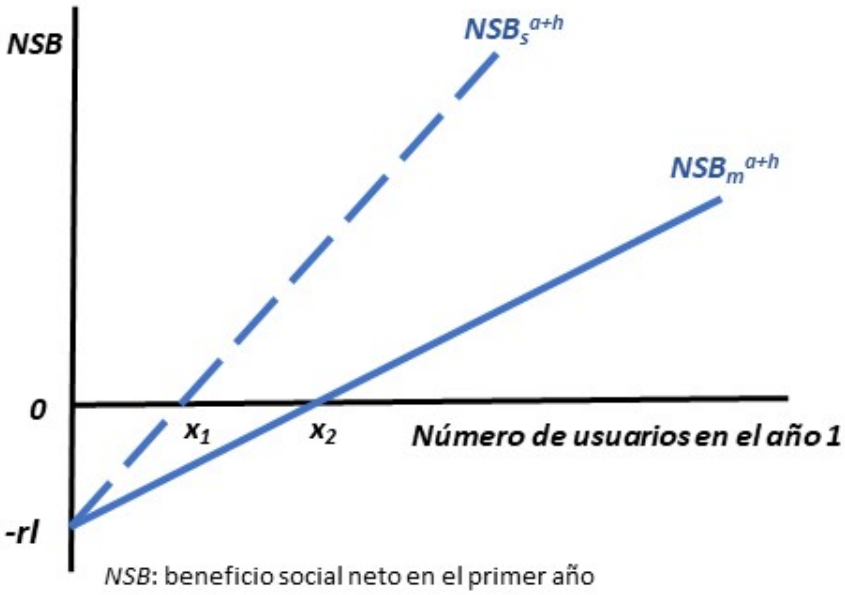
Figura 4.3. Decisión óptima en función del número de usuarios



NSB: beneficio social neto en el primer año

Esto queda ilustrado en la **Figura 4.4**, donde la línea discontinua representa el *NSB* del proyecto cuando se aplica un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo, NSB_s^{a+h}, y la línea continua representa la función del *NSB* cuando se pasa a un sistema de tarificación basado en precios superiores a los costes marginales a corto plazo, NSB_m^{a+h}. Obsérvese que, cuando el gobierno decide cobrar el acceso a la infraestructura ferroviaria de alta velocidad aplicando márgenes sobre los costes marginales a corto plazo en lugar de un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo (como se muestra en la **Figura 4.4**), los umbrales críticos para el número de usuarios pasan de x_1 a x_2. Así, con un sistema de tarificación basado en precios superiores a los costes marginales a corto plazo, se necesitan más usuarios para que la decisión de construir la nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad resulte óptima.

Figura 4.4 Alternativa de transporte óptimo en función del sistema de tarificación



Obsérvese que, si el número de usuarios se sitúa entre x_1 y x_2, la decisión óptima desde el punto de vista social es tener solo aeropuertos si el gobierno aplica un sistema de tarificación basado en precios superiores a los costes marginales a corto plazo. No obstante, si el gobierno cobra según los costes marginales a corto plazo, la decisión óptima es invertir en la nueva infraestructura ferroviaria de alta velocidad (y disponer de ambos modos de trasnporte). Por tanto, el gobierno puede favorecer la construcción de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad eligiendo un sistema de tarificación basado en los costes marginales a corto plazo.

La consecuencia práctica de este análisis para la política de transporte es evidente: toda infraestructura de transporte debe construirse solo en los casos en que el nivel de bienestar social sea claramente mayor que el bienestar social asociado a la siguiente mejor alternativa, y este hecho depende en gran medida del sistema de tarificación elegido. Cabe destacar que las consecuencias a largo plazo de invertir en proyectos de infraestructura subóptimos pueden ser de máxima importancia. Debido al carácter irreversible de la inversión, es posible que acabemos teniendo una red de transporte óptima según un determinado sistema de tarificación, pero subóptima según otro sistema de tarificación. Cuando la infraestructura ya se ha construido, debería utilizarse (si, como mínimo, se cubren los costes variables). Sin embargo, esto no implica que deban añadirse nuevos segmentos a la red existente. Para los nuevos segmentos, el planificador debe elegir cuidadosamente el sistema de tarificación y esperar hasta que la demanda alcance el umbral de rentabilidad social. Mientras tanto, merece la pena, desde el punto de vista social, posponer la ampliación de la red.

Hay casos en los que se han construido dos redes de transporte para resolver el mismo problema de movilidad, pero aplicando diferentes sistemas de tarificación. Los aeropuertos y las redes ferroviarias de alta velocidad son un claro ejemplo. Los efectos en la distribución modal han sido muy favorables para el sistema ferroviario de alta velocidad, ya que han absorbido en algunas líneas prácticamente toda la demanda. Sin embargo, este cambio en la demanda puede deberse a que los usuarios del sistema ferroviario de alta velocidad no pagan por el coste de construcción de la infraestructura, mientras que en los grandes aeropuertos (es decir, los que compiten con el tren de alta velocidad) los usuarios del transporte aéreo sí lo hacen.

El debate académico sobre los precios que se deben cobrar por el uso de las infraestructuras y los servicios de transporte sigue vigente en la actualidad y está lejos de haber hallado una solución de consenso. Aunque la norma general desde el punto de vista de la eficiencia económica es que los precios sean iguales a los costes marginales sociales, estos costes se pueden definir a corto o largo plazo. Además, podría haber restricciones presupuestarias y otros problemas relacionados con los incentivos (que se analizarán en la **Sección 9**). En general, el sistema de tarificación óptimo para una infraestructura determinada debe establecerse teniendo en cuenta la existencia de otros modos de transporte complementarios o sustitutivos y no solo las características específicas de cada modo (de Rus y Socorro, 2014). Este hecho sirve para destacar, una vez más, la importancia de adoptar una buena política de transporte.

5. COSTES DE OPORTUNIDAD DE LOS PROYECTOS: PRECIOS DE MERCADO Y PRECIOS SOMBRA

5.1. Coste de los recursos que se necesitan para un proyecto

Los beneficios sociales logrados mediante la reducción del coste generalizado a través de un proyecto de transporte no son gratuitos para la sociedad. Estos beneficios siempre conllevan un coste de oportunidad que se mide por el valor de los recursos desviados desde otros usos para su utilización en un proyecto particular. La presente sección examina los *inputs* que se necesitan para el proyecto de transporte y el modo de valorarlos.[31]

De acuerdo con la **Sección 2**, los efectos de un proyecto de transporte sobre el bienestar social pueden expresarse como el importe máximo que los individuos afectados están dispuestos a pagar para disfrutar de los beneficios correspondientes, tras deducir los costes del proyecto. Este es el valor de la suma de las variaciones compensatorias (*CV*) en las expresiones **(2.12)** o **(2.20)** para todos los individuos de la sociedad, tras deducir los costes del proyecto. La agregación de la *CV* es, pues, la suma de la disposición a pagar de los individuos por los beneficios del proyecto (signo positivo) y la disposición a aceptar la renuncia a otros bienes para lograr esos beneficios (signo negativo).

Por consiguiente, el coste de oportunidad social del proyecto (C_j) puede definirse como el valor de todos los bienes (s) a los que tiene que renunciar la sociedad, cuando esos recursos se desvían de otros usos para ejecutar el proyecto, es decir, para disfrutar de sus beneficios sobre el bien j (por ejemplo, un servicio de transporte más rápido), que se representa formalmente mediante:

$$C_j = \sum_{k=1}^{s} p_k dx_k, \qquad \textbf{(5.1)}$$

expresión derivada del modelo general que figura en la **Sección 2**, siendo $s \leq n$ bienes o servicios, y donde se supone que el único *input*, la mano de obra, se utiliza íntegramente para producir y consumir bienes y que los precios de mercado reflejan el valor de los bienes desviados al proyecto.

El problema es que esta expresión no resulta muy útil para calcular el *VAN* del proyecto. Generalmente, el evaluador que lleva a cabo el ACB no sabe a qué bienes (escuelas, vivienda, instalaciones de ocio, etc.) renuncia la sociedad para lograr los beneficios del

[31] Esta sección se basa en Johansson (1993) y de Rus (2010). En particular, la sección se ocupa de *inputs* que se pueden adquirir en los mercados. Los recursos no comercializados en el mercado se examinan en la **Sección 6**.

proyecto que se está evaluando. Sin embargo, hay un modo de evitar este problema de medición adoptando el mismo método que se sugiere en **(5.1)**. A tal fin, podemos considerar ahora que la producción de cualquiera de los bienes en esta expresión, x_k, requiere al menos dos *inputs* y_1 e y_2, y la correspondiente función de producción viene dada por

$$x_k = f_k(y_1, y_2), \tag{5.2}$$

cuyo diferencial total muestra que toda variación de la producción depende de la variación de la cantidad de los *inputs* usados multiplicada por sus productividades marginales:

$$dx_k = \frac{\partial f_k}{\partial y_1} dy_1 + \frac{\partial f_k}{\partial y_2} dy_2 . \tag{5.3}$$

Sustituyendo (**5.3**) en (**5.1**) y recordando que toda empresa que maximiza sus beneficios utiliza unidades adicionales de *inputs* hasta que su precio de mercado (w) es igual al valor de su productividad marginal, $w = p(\partial x / \partial y)$, el coste del proyecto puede reformularse del siguiente modo:

$$C_j = \sum_{k=1}^{s} \left(w_1 dy_1 + w_2 dy_2 \right). \tag{5.4}$$

El coste del proyecto formulado inicialmente en la expresión (**5.1**) como el valor social de los bienes desviados para obtener el bien proporcionado por el proyecto aparece ahora en la expresión (**5.4**) como las cantidades de los *inputs* (dy_1 y dy_2) que se necesitan para producir esos bienes, multiplicadas por sus respectivos precios (w_1 y w_2).

En la práctica, la validez y utilidad de la expresión **(5.4)** para determinar y evaluar los costes de un proyecto depende de tres supuestos subyacentes. En primer lugar, todas las variaciones en los mercados de *inputs* son marginales; en segundo lugar, los mercados de *inputs* y productos finales están en situación de competencia perfecta, sin distorsiones tales como impuestos indirectos o sobre la renta; y, en tercer lugar, todos los recursos se utilizan plenamente. Sin embargo, cuando se descartan estos supuestos para abordar la de evaluación de proyectos más realistas (que incluyen, entre otras, la presencia de subvenciones o impuestos, o el uso de mano de obra desempleada en el proyecto), la expresión **(5.4)** deja de ser válida para calcular los costes de oportunidad del proyecto. De esto trata la tarificación con precios-sombra: de ajustar los precios de mercado para reflejar los verdaderos costes de oportunidad.

5.2. Precio de mercado y precio sombra de los inputs

Un proyecto de transporte suele necesitar el uso de algunos bienes ya producidos (por ejemplo, vehículos, x) y otros *inputs* (y, como, por ejemplo, energía, repuestos y otros materiales), de los que, para facilitar la exposición, consideraremos por separado la mano de obra (representada por L, como expresión del número de trabajadores). Por tanto, el coste social de este proyecto (C) puede reformularse del siguiente modo:

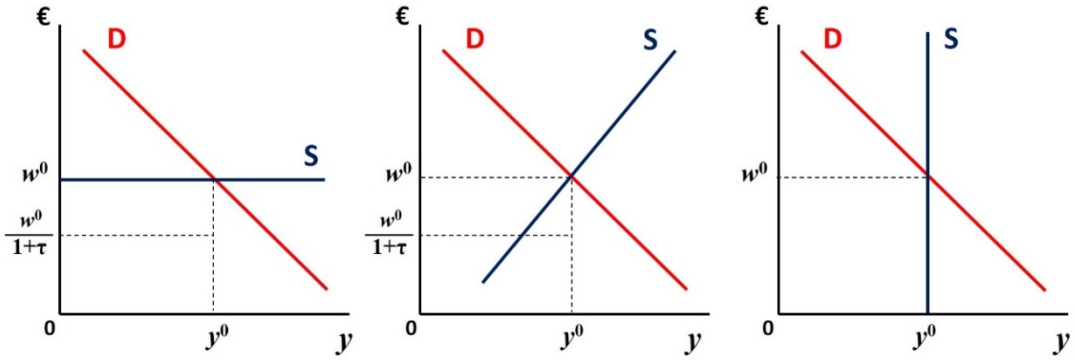
$$C = pdx + w_y dy + wdL\,, \qquad \textbf{(5.5)}$$

donde p es el vector de los precios de mercado (incluidos los impuestos) de los bienes usados por el proyecto, w_y es el vector de los precios de mercado de los otros *inputs* distintos de la mano de obra, y w es el salario. Por ejemplo, un proyecto ferroviario de alta velocidad requiere construir infraestructuras específicas (vías y estaciones), que se produzca todo el equipo necesario para dichas infraestructuras y para la operación de los servicios (por ejemplo, materiales de construcción, material rodante, etc.), y que se contrate mano de obra para el mantenimiento y la operación de dichas infraestructuras y servicios.

En la expresión **(5.5)**, el coste de las locomotoras, los vagones, la energía eléctrica y la mano de obra se valoran inicialmente según los precios de mercado. Ahora pasamos a examinar cuándo es correcta esta valoración y cuándo deberían hacerse algunos ajustes en esos precios para obtener los costes de oportunidad de los bienes, de los *inputs* y de la mano de obra. Obsérvese también que la distinción entre bienes e *inputs* en **(5.5)** es relativamente difusa en la práctica, ya que los *inputs* que deben adquirirse para el proyecto son, de hecho, *inputs* producidos (es decir, bienes). No obstante, mantenemos esta distinción para analizar más adelante el precio sombra de los *inputs*, suponiendo que dichos *inputs* se desvían del sector privado.

La **Figura 5.1** ilustra estas ideas mostrando la oferta y la demanda en equilibrio de cualquier *input* y, donde (w^0, y^0) representa el equilibrio de mercado de acuerdo con diferentes regímenes de oferta y se establece un impuesto indirecto (τ) *ad-valorem*. Mientras que la función de demanda es la misma en los tres casos, la oferta es perfectamente elástica en el panel izquierdo, lo que muestra la disponibilidad (infinita) de cualquier cantidad de *input* al precio de mercado w^0. En el panel central, la función de la oferta de los *inputs* es una pendiente ascendente, lo que indica que para la oferta sea superior a y^0 es necesario que haya un aumento de w. En el panel derecho, la oferta es perfectamente inelástica, lo que significa que la cantidad disponible del *input* está fija en y^0 y no se puede aumentar.

Figura 5.1. Precios de mercado y precios sombra de los *inputs*



Consideremos ahora que el proyecto desplaza (marginalmente) la demanda de los *inputs* hacia la derecha. En el caso de una oferta perfectamente elástica, el precio de los *inputs* w^0 se mantiene constante y los proveedores proporcionan la cantidad adicional de y, es decir, dy en la expresión **(5.5)**. Obsérvese que w^0 no es el coste de oportunidad de una unidad adicional de y, ya que el impuesto indirecto (τ) es una mera transferencia. Por tanto, el precio sombra de y para nuestro proyecto es el precio de mercado del *input* tras deducir los impuestos: $w^0/(1+\tau)$.

En general, el precio sombra de cualquiera de los *inputs* usados en los proyectos de transporte es el precio de mercado del *input*, tras deducir los impuestos. Este principio es aplicable a la mayoría de los proyectos cuya demanda sea marginal en los mercados de los *inputs*, incluso para el caso central de la **Figura 5.1** si la cantidad de *inputs* demandada por el proyecto es marginal con respecto a los mercados nacionales o internacionales. En todos estos casos, el desplazamiento de la demanda es insignificante, y el precio de equilibrio w^0 solo varía de forma marginal.

El panel central de la **Figura 5.1** también es útil para determinar con más exactitud el coste de oportunidad del proyecto. La cantidad de y demandada para el proyecto desplaza hacia la derecha la curva de demanda en la cantidad dy, y el precio de los *inputs* w^0 sube para equilibrar el mercado. Este incremento de w induce un aumento marginal de la oferta de y (hacia la derecha de y^0) y también una desviación de y desde el sector privado en la adquisición de y (hacia la izquierda de y^0) cuando para algunas empresas deja de ser rentable adquirir y^0 a un precio superior a w^0.

El coste de oportunidad de la cantidad del *input* y adquirido para el proyecto tiene un límite inferior y superior según el lugar de donde proceda esa cantidad desviada dy. Cuando una unidad de y procede de la producción adicional de y, su coste de oportunidad es el coste social marginal de producir dicho *input*, es decir, el precio de mercado del *input* tras deducir el impuesto indirecto, como antes, $w^0/(1+\tau)$. Por otra parte, cuando una unidad de y se desvía desde la producción de otros bienes en el sector

privado, el coste de oportunidad de una unidad de y es el valor de la producción asociada a ese *input* en el sector privado. En este caso, el coste social marginal de y es más alto, y es igual a w^0 en el panel central de la figura.

El coste de oportunidad del *input* desviado desde el sector privado hacia el proyecto podría ser incluso mayor. En la práctica, si el sector privado paga un impuesto *ad-valorem* (θ) por la producción de un bien desplazado por el *input* desviado, el coste de oportunidad de una unidad de y será $w(1 + \theta)$, donde θ es el impuesto sobre el valor añadido. Así pues, $w(1 + \theta)$ es igual al valor de la productividad marginal del *input*.

Pongamos un ejemplo para aclarar esta idea: si el coste marginal de un litro de gasolina es 0,5 euros y hay un impuesto específico sobre la gasolina de 0,5 euros destinado a aumentar los ingresos, su precio de mercado (w) es 1 euro por litro. El coste de oportunidad social que conlleva utilizar un litro adicional de gasolina en el proyecto es 0,5, cuando el litro procede de nueva producción (como en el panel izquierdo de la **Figura 5.1**) y 1,2 euros cuando el impuesto sobre el valor añadido es del 20 % y el litro de gasolina se desvía desde una empresa de transporte privada. Así pues, el límite inferior del precio sombra de un litro de gasolina es 0,5 euros y el límite superior es 1,2 euros.

En el caso de los bienes producidos, el precio de mercado (p) en la expresión **(5.1)** es el coste de oportunidad. Cuando el bien producido es adicional, el coste de oportunidad es más bajo porque el impuesto *ad-valorem* y cualesquiera otros impuestos específicos deben deducirse para obtener el coste marginal social.

En la práctica, los *inputs* están generalmente disponibles, como en el panel izquierdo de la **Figura 5.1**, y su precio sombra es, sencillamente, su precio de mercado, tras deducir los impuestos indirectos. En el caso de que exista un racionamiento o uso limitado del *input*, se aplican las reglas explicadas anteriormente. Ahora la distinción entre el bien producido y el *input* es más clara.

Por último, obsérvese que la derivación de las reglas para convertir los precios de mercado en precios sombra se obtuvo con impuestos indirectos o impuestos sobre determinados productos básicos diseñados para aumentar los ingresos. En el caso de impuestos piguvianos, es decir, aquellos destinados a internalizar las externalidades, el coste de oportunidad incluye el impuesto, ya que el impuesto refleja un coste externo y no solo una transferencia de ingresos, como en el caso del impuesto sobre el valor añadido y otros impuestos similares (siempre y cuando el precio sombra de los fondos públicos sea igual a uno).

El supuesto de los *inputs* que solo están disponibles en una cantidad fija es particularmente relevante en el caso de la infraestructura de transporte. Un proyecto como la construcción de un aeropuerto o una línea ferroviaria necesita suelo. El pago a

este factor fijo se denomina renta económica, lo cual refleja que el precio pagado está por encima del precio mínimo para que el factor se ofrezca en el mercado. Así ocurre en el caso del suelo, representado en el panel derecho de la **Figura 5.1**, con una oferta fija a largo plazo y con un precio de equilibrio w_0 determinado por el valor de la demanda de dichos factores. Esto significa que el precio de este *input* depende del valor de los productos producidos y vendidos usando ese suelo (actividad agrícola, comercial o cualquier otra actividad económica). El problema es que para una empresa privada el suelo representa un coste, pero para la sociedad el valor del suelo es solo un reflejo del valor de los bienes obtenidos mediante el uso del mismo.

El coste del terreno destinado al proyecto se basa en una idea sencilla. Si el mercado del suelo es competitivo, el coste de oportunidad del suelo que se necesita para un proyecto de transporte es su precio de mercado (w^0), que refleja el beneficio neto perdido en el mejor uso alternativo posible de ese suelo. Cuando el proyecto aumenta la demanda de suelo, el equilibrio representado en el panel derecho de la **Figura 5.1** deja de ser compatible con el precio inicial w^0. La cantidad de suelo que requiere el proyecto desplaza hacia fuera la curva de demanda en la cantidad *dy*, y el precio del suelo w^0 sube para equilibrar el mercado. Cuando el precio del suelo aumenta, la cantidad de terreno demandada por el sector privado disminuye, lo que libera el suelo que necesita el proyecto. Por tanto, el coste de oportunidad del suelo para el proyecto es el valor que se pierde cuando el proyecto desplaza la actividad económica en ese trozo de terreno, y, en el caso de pequeñas extensiones de terreno, se puede calcular de forma aproximada mediante el precio de mercado del suelo.

En los casos en que el proyecto representa una variación importante de la demanda de suelo, el desplazamiento hacia fuera de la curva de demanda (en la cantidad de suelo que necesita el proyecto) aumentará el precio de w^0 a w^1, y la cantidad de suelo que necesita el proyecto puede calcularse con la media de ambos precios, $(w^0 + w^1)/2$, multiplicada por *dy*. Por último, cabe destacar que el coste de oportunidad social del suelo casi nunca es el pago por la expropiación, el cual se basa en una serie de valores oficiales que no equivalen necesariamente a la disposición de los individuos a aceptar la liberación voluntaria de este suelo para el proyecto.

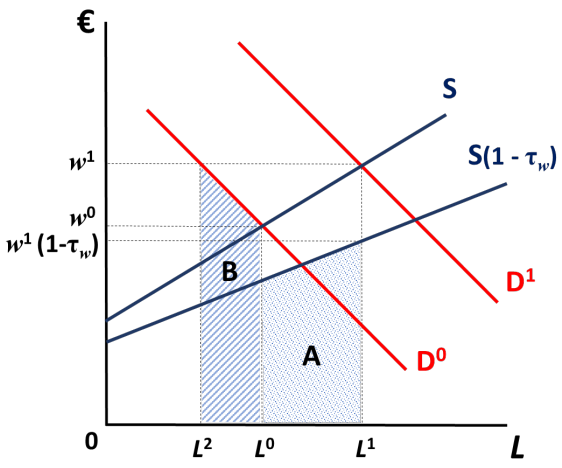
5.3. Coste de oportunidad de la mano de obra

El análisis del precio sombra de la mano de obra es muy similar al aplicado a otros *inputs*. No obstante, hay algunas diferencias que merecen un tratamiento diferenciado de este *input*. Se necesita mano de obra para el diseño y la construcción de la infraestructura de transporte, para su mantenimiento y operación y para la prestación de servicios de transporte que utilicen esa infraestructura.

El coste de oportunidad de la mano de obra en la expresión **(5.5)** se valora a su precio de mercado, w, pero, una vez más, esta afirmación solo es válida en varias hipótesis restrictivas que no suelen tener cabida en las evaluaciones de proyectos reales, en particular en lo que respecta a la existencia de desempleo. Por tanto, cuando se conoce el número de trabajadores que se necesitan para el proyecto, el siguiente paso es establecer de dónde proceden esos trabajadores. ¿Estaban trabajando en el sector privado? ¿Estaban desempleados anteriormente? ¿Recibían prestaciones por desempleo? En el análisis del precio sombra de la mano de obra es recomendable distinguir tres posibles fuentes de la mano de obra necesaria para un proyecto: *a*) trabajadores que ya estaban empleados en otras actividades productivas; *b*) personas en situación de desempleo voluntario con el nivel de salario actual; y *c*) personas en situación de desempleo involuntario dispuestas a trabajar con el nivel de salario actual.

La **Figura 5.2** ilustra los ajustes que deben hacerse para pasar del salario de mercado al coste de oportunidad de la mano de obra en cada uno de estos casos. Supondremos que el proyecto tendrá un efecto significativo en la demanda de mano de obra y que existe un impuesto proporcional sobre la renta de los trabajadores, τ_w.

Figura 5.2. Precios sombra de la mano de obra



Sin proyecto, el mercado de trabajo está en equilibrio, y la oferta (S) y la demanda (D^0) determinan un salario de w^0 y una cantidad de mano de obra contratada de L^0. La existencia de un impuesto proporcional sobre la renta (τ_w) establece una distinción entre la función de oferta del mercado (S) y el coste de oportunidad de la mano de obra, $S(1-\tau_w)$. La función de oferta $S(1-\tau_w)$ representa el valor marginal del ocio para los trabajadores, y la función de demanda el valor de la productividad marginal de la mano de obra para la empresa. Con el salario inicial (w^0), el valor de la productividad

marginal de la mano de obra para la empresa es igual al valor del ocio para el trabajador marginal más el impuesto sobre la renta.

Con el proyecto, la demanda de mano de obra pasa de D^0 a D^1 (la distancia horizontal entre estas dos funciones de demandas paralelas es exactamente la cantidad de mano de obra que se necesita para el proyecto), el salario sube a w^1 y la demanda privada de mano de obra desciende de L^0 a L^2. El aumento del salario también tiene el efecto de aumentar el número de trabajadores dispuestos a trabajar con esta remuneración más elevada, y la cantidad de trabajadores en situación de equilibrio sube a L^1. Ahora estamos preparados para calcular el coste de oportunidad de la mano de obra empleada en el proyecto.

El proyecto necesita ($L^1 - L^2$) unidades de mano de obra. Esta cantidad de mano de obra tiene dos componentes: los nuevos trabajadores que desean trabajar con el nuevo salario de equilibrio ($L^1 - L^0$) y los trabajadores que ya estaban empleados en el sector privado, ($L^0 - L^2$), que se incorporan al proyecto con un salario más alto w^1. El coste de oportunidad de los trabajadores que anteriormente estaban en situación de desempleo voluntario, es decir, ($L^1 - L^0$), está representado por el **área A**, esto es, el valor del ocio perdido cuando aceptan los nuevos empleos. Aunque reciben una remuneración $w^1(1 - \tau_w)(L^1 - L^0)$, su coste de oportunidad social es:

$$\left[\frac{1}{2}(w^0 + w^1)(1-\tau_w)\right](L^1 - L^0)\,.$$

Este es el coste de oportunidad de quienes ya estaban trabajando en el sector privado ($L^0 - L^2$), que se incorporan al proyecto con un salario mayor w^1, cuya remuneración neta es $w^1(1 - \tau_w)$; no obstante, el coste de oportunidad social de estos trabajadores es más alto, representado por el **área B**, que es el valor perdido de la productividad marginal de la mano de obra en el sector privado, cuando la cantidad de mano de obra ($L^0 - L^2$) se incorpora al proyecto. Estos trabajadores reciben una remuneración $w^1(1-\tau_w)(L^0 - L^2)$, pero el coste de oportunidad social de estos trabajadores es, en principio:

$$\frac{1}{2}(w^0 + w^1)(L^0 - L^2)\,.$$

Este es el coste de oportunidad de la mano de obra desviada cuando w es el coste unitario del factor trabajo para la empresa representado en la **Figura 5.2**. En el caso de que exista además una contribución proporcional a la seguridad social pagada por los empleadores (α_w) y otros impuestos indirectos *ad-valorem* (por ejemplo, el impuesto sobre el valor añadido), gravados en el mercado de productos, el precio sombra de la mano de obra desviada tiene que reflejar el valor social perdido como consecuencia del

desplazamiento de la mano de obra desde otras actividades productivas, y esto incluye los ingresos fiscales y cualesquiera otras cargas perdidas en el proceso. En este último caso, el precio sombra de la mano de obra será:

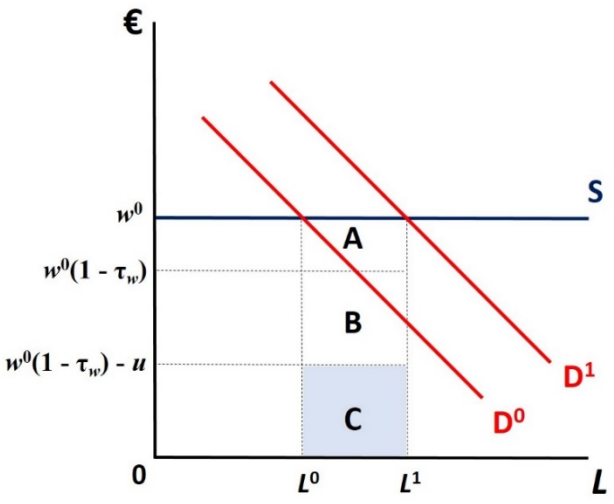
$$(1+\theta)(1+\alpha_w)\left[\frac{1}{2}(w^0+w^1)(L^0-L^2)\right].$$

Cuando la mano de obra del proyecto está en situación de desempleo involuntario, dispuesta a trabajar con el nivel de salario actual, la curva de oferta es perfectamente elástica, como en la **Figura 5.3**.

La elasticidad infinita de la oferta muestra que los trabajadores están dispuestos a trabajar con el salario de equilibrio si los contratan las empresas. Con un nivel de demanda D^0 hay desempleo involuntario. El proyecto desplaza la demanda de mano de obra D^0 a D^1. El proyecto necesita (L^1-L^0) trabajadores, la distancia entre la demanda sin proyecto y con proyecto, y el mercado suministra esta cantidad sin que se produzca ninguna variación en el salario inicial.

A este respecto resulta útil distinguir entre el coste de oportunidad del trabajador y el coste de oportunidad social. La **Figura 5.3** muestra que el trabajador desempleado recibe prestaciones por desempleo iguales a u, y, si acepta el trabajo, se le aplica un impuesto proporcional sobre la renta (τ_w). Por tanto, como su salario de reserva es w^0 (no está dispuesto a trabajar por menos de este salario), la remuneración de los trabajadores es igual al valor del ocio más las prestaciones por desempleo (u) más el impuesto sobre la renta (τ_w) que tiene que pagar el trabajador si acepta el nuevo empleo.

Figura 5.3. Precios sombra del empleo con desempleo involuntario



Por consiguiente, el coste de oportunidad individual es el valor de ocio para el trabajador más las prestaciones por desempleo. No obstante, el coste de oportunidad social no puede incluir las prestaciones por desempleo (ya que son una transferencia) dentro de los costes del proyecto, porque la pérdida real de recursos cuando se emplea al individuo es solo el valor marginal del ocio. Entonces, el precio sombra de la mano de obra es $w^0(1 - \tau_w) - u$, y el coste social de estos trabajadores para el proyecto es $[w^0(1 - \tau_w) - u](L^1 - L^0)$, que corresponde al **área C** de la figura anterior.[32]

Ambos valores son útiles para la evaluación económica de proyectos. De lo que se trata es de ser coherente con los métodos alternativos que puede adoptar el evaluador. En el caso de que se sume la variación de los excedentes, lo que importa es el coste de oportunidad privado, mientras que lo relevante será el coste de oportunidad social si el método utilizado se basa en la variación que experimentan la disposición a pagar y los recursos.

El coste de oportunidad social de $(L^1 - L^0)$ que aparece en la **Figura 5.3** está representado por el **área C**, que es el valor del ocio. El coste de oportunidad privado es mayor y aparece representado por las **áreas B + C**. Sumando la variación de los excedentes, la variación del excedente del productor es cero, ya que reciben **A + B + C** (el valor de la productividad marginal de la mano de obra) y pagan **A + B + C**. El excedente de los trabajadores también es cero, ya que reciben un pago bruto de **A + B + C**, igual a su coste de oportunidad. Por último, los contribuyentes obtienen la recaudación del impuesto sobre la renta **(área A)** y el ahorro en las prestaciones por desempleo **(área B)**. Sumando estos excedentes, obtenemos **A + B** como beneficio neto, derivado del valor de la productividad marginal de la mano de obra **(A + B + C)**, menos el coste del ocio **(área C)**, el único coste social que aparece en la **Figura 5.3**. El tratamiento del coste de oportunidad de la mano de obra puede ser engañoso, a menos que el analista adopte estrictamente uno de los métodos descritos.

Cuando el proyecto emplea a trabajadores en un segmento del mercado de trabajo donde hay un salario mínimo, el coste de oportunidad de una unidad de mano de obra puede calcularse de forma aproximada, a falta de recibir información más precisa, mediante el salario mínimo oficial medio $(\overline{w})$ y el salario de reserva más bajo ($\underline{w}$). Cuando se desconoce este último valor, se puede calcular un límite inferior para el precio sombra de la mano de obra como $(1/2)\overline{w}$, lo que implica que el salario de reserva más bajo es cero.

---

[32] Una vez más, estamos suponiendo que no hay ningún coste económico de los fondos públicos, es decir, el precio sombra de los fondos públicos es igual a uno. De lo contrario, debería considerarse también el beneficio adicional $\lambda_g(w^0\tau_w + u)(L^1 - L^0)$.

Por último, la determinación del precio sombra de la mano de obra tiene otras complicaciones cuando examinamos las interacciones de los efectos del proyecto en el mercado primario con otros mercados a través de las relaciones de complementariedad y sustituibilidad. El examen antes expuesto ignora el efecto que tiene el proyecto en otros sectores de la economía y, por tanto, en el desempleo agregado. Se recomienda examinar otros sectores estrechamente relacionados con el mercado primario para completar este análisis.

6. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BIENES PARA LOS QUE NO HAY MERCADO

6.1. Métodos para valorar los efectos externos en los proyectos de transporte

La mejor manera de calcular de forma aproximada el coste de oportunidad de los recursos utilizados en un proyecto de transporte es usar los precios de los mercados donde se intercambian dichos recursos. Sin embargo, hay bienes —como, por ejemplo, la seguridad o la calidad del aire— para los cuales estos mercados no siempre están definidos, y se deben diseñar procedimientos de valoración alternativos para ellos. Aun cuando no sean el objetivo directo de los proyectos de transporte, los resultados asociados a estos bienes aparecen con frecuencia como efectos secundarios para otras personas (por ejemplo, la mejora de las carreteras afecta al paisaje circundante), junto con otros resultados (contaminación, ruido, congestión, etc.) que se imponen a agentes sociales que no participan necesariamente en los mismos mercados de transporte.

Ignorar las externalidades que conlleva un proyecto para el resto de la sociedad puede ocultar sus verdaderos costes de oportunidad o, análogamente, esconder el beneficio real que la sociedad obtiene de su ejecución. Si la rentabilidad social del proyecto tiene en cuenta la magnitud de la externalidad, puede incluso modificar la decisión de aceptar o rechazar el proyecto o su priorización. Por estas razones, el problema que se examina en la presente sección no consiste solo en valorar los recursos para los que no se pueden encontrar fácilmente precios de mercado, sino también en comprender sus características particulares y por qué y cómo se incluyen en el ACB de los proyectos de transporte.

Esta valoración económica de los costes y beneficios de los recursos no intercambiados en los mercados asociados a un proyecto de transporte suele llevarse a cabo aplicando diferentes métodos que agregan o monetizan las preferencias individuales, utilizando como punto de partida los conceptos de disposición a pagar (*WTP*) y disposición a aceptar una compensación (*WTA*), y en general suponiendo que, si un efecto causado por un proyecto de transporte no es percibido por los individuos, no conllevará ninguna variación del bienestar social y, por tanto, no tendrá ningún valor desde el punto de vista del ACB.[33]

[33] En un contexto de información limitada y de racionalidad acotada, esta percepción incluye elementos tanto subjetivos como objetivos, y la mera existencia de la externalidad o la elección entre una u otra forma de medir las variaciones del bienestar depende básicamente de la percepción que tengan los individuos de su derecho a beneficiarse de la mejora o a no asumir sus costes (Kahneman y Tversky, 1979). En estos casos podría ser aconsejable adoptar un punto de vista más amplio (como un planificador social).

Sin embargo, el uso de estos métodos de valoración basados en las preferencias no siempre resulta fácil, y, en ocasiones, se utilizan en su lugar procedimientos más directos (por ejemplo, simplemente cuantificar los efectos externos de un proyecto mediante sus costes de restauración, evitación o sustitución). El principal inconveniente de estas aproximaciones alternativas es precisamente que no tienen en cuenta las preferencias de los individuos, y suponen de forma implícita que, si esos costes se produjeron realmente, fue porque la sociedad valoró los recursos como mínimo en ese importe. Además, estos métodos solo pueden aplicarse cuando los costes de sustituir, evitar o restaurar la pérdida ya se han realizado, y esto implica suponer que los responsables de tomar las decisiones hicieron una elección óptima al decidir *ex ante* si se debían llevar a cabo tales inversiones.

Así pues, las técnicas más recomendadas para evaluar los efectos externos en los proyectos de transporte se basan en las preferencias de los individuos y pueden clasificarse, en general, en dos grupos principales: las que se derivan de los mercados relacionados con el transporte y las que usan mercados hipotéticos o alternativos. Dado que emplean hipótesis diferentes, no todas ellas se pueden utilizar siempre para medir todos los efectos: es necesario tener en cuenta cada caso concreto y establecer exactamente lo que se debería evaluar al elegir una técnica o la otra. A veces puede resultar necesario aplicar varios métodos simultáneamente para analizar diferentes aspectos y estimar el efecto total de una externalidad.

6.1.1. Técnicas basadas en los mercados relacionados con el transporte

Este conjunto de técnicas obtiene las preferencias de los individuos a partir de las decisiones que estos toman en mercados que tienen algún tipo de relación (sustituibilidad o complementariedad) con los bienes objeto de análisis pero que no se intercambian en ningún mercado. En primer lugar, el *método de los costes evitados* se basa en la idea de que la disposición a pagar (*WTP*) de cualquier individuo por una variación marginal de la cantidad o la calidad de un bien o servicio no comercializable que se ve afectado por un proyecto de transporte puede expresarse como una variación marginal del gasto en otros bienes o servicios.

A pesar de su atractivo conceptual, este método basado en las preferencias reveladas presenta varios puntos débiles. Por ejemplo, no se aplica a los cambios no marginales. De acuerdo con este procedimiento, el beneficio de una variación no marginal de cualquier bien o servicio no comercializable z (por ejemplo, una menor contaminación) se valoraría como la reducción del gasto en el bien privado x que hace que el individuo retenga su nivel de utilidad inicial (por ejemplo, un menor gasto en atención médica). Ahora bien, como tiene más recursos debido a la mejora que se produce en z, el individuo puede aumentar su consumo de todos los demás bienes y servicios. Así pues, la reducción del gasto en el bien x podría ser menor que la exigida para mantener

constante el nivel de utilidad, por lo que el individuo subestimará los beneficios de la variación de *z*. Obsérvese, asimismo, que este método supone que los individuos ajustan rápidamente sus decisiones a las variaciones de *z*, cuando en realidad es posible que se necesite algo de tiempo. Además, cuando las preferencias son complejas, es posible que los costes evitados no compensen plenamente la disminución de *z* ni produzcan otros beneficios.

El *método del coste de viaje* es una segunda técnica de valoración basada en el análisis de la relación de complementariedad entre un bien o servicio no comercializable (por ejemplo, la visita a un paisaje natural) y uno comercializable (por ejemplo, un viaje) que se necesita para consumir el primero y que refleja de un modo indirecto las preferencias de los individuos por él. La idea es que los gastos en que incurre una persona para visitar un lugar pueden interpretarse como el «precio» de este y, por tanto, usarse para obtener la disposición a pagar (*WTP*) por el lugar en su conjunto o por algunas de sus características específicas. A veces estos valores monetarios pueden derivarse a partir de técnicas de regresión sencillas (usando, por ejemplo, el número de visitas como variable explicativa), aunque siempre deben tener en cuenta los precios generalizados, las alternativas existentes en el proceso de toma de decisiones, la distribución de los costes de viaje cuando los individuos visitan más de un lugar, o el modo de agregar las visitas con diferentes duraciones o motivos.

El *método de precios hedónico* también utiliza el enfoque del mercado correlacionado. Se basa en una alternativa a la teoría neoclásica del consumidor propuesta por Lancaster (1966), según la cual los productos diferenciados pueden describirse plenamente en función de una serie de características o atributos que se pueden medir de manera objetiva, de tal forma que los precios reflejen sus diferencias. Una vez más, este enfoque supone que existe complementariedad entre un bien o servicio comercializable y uno no comercializable, pero en este caso la relación actúa a través de variaciones del precio. De hecho, la relación de equilibrio entre el precio de un bien y un vector de sus características se denomina función de precio hedónico, y sus derivadas parciales proporcionan los valores implícitos marginales de cada característica, es decir, el gasto adicional que se necesitaría para lograr una variación marginal en cualquier atributo particular. En un mercado competitivo, este precio implícito será igual a la disposición a pagar (*WTP*) del individuo por la variación marginal en esa característica (Freeman, 1993). Sin embargo, dado que no todos los individuos tienen las mismas preferencias, también sería preciso estimar una función que explique cómo varía la disposición a pagar (*WTP*) marginal con el nivel de cada atributo, las características socioeconómicas de los individuos y cualesquiera otras variables que pudieran afectar a las preferencias.

Aunque este procedimiento se ha utilizado ampliamente en el transporte (por ejemplo, para calcular de forma aproximada los efectos de las externalidades ambientales a través de las variaciones de los valores de las propiedades inmobiliarios), este método es

objeto de, al menos, dos críticas: desde un punto de vista teórico, su validez se basa en gran medida en supuestos muy estrictos sobre información perfecta, movilidad perfecta de los consumidores y existencia de equilibrio en los mercados relacionados con el transporte; desde una perspectiva empírica, la estimación de las funciones de precios hedónicos se ve afectada de forma relevante por la calidad de los de datos disponibles, y no es raro que se produzcan estimaciones sesgadas o que surjan problemas de multicolinealidad.

6.1.2. Técnicas basadas en mercados hipotéticos

Como alternativa y, a la vez, complemento a las técnicas anteriores, existen otros métodos de valoración que tratan de extraer las preferencias del consumidor a través de transacciones en mercados hipotéticos a partir de encuestas. Las correspondientes estimaciones de las variaciones del bienestar social no se derivan así del comportamiento revelado de los individuos, sino que se infieren de lo que sería su comportamiento declarado, suponiendo que harán exactamente lo que han contestado. Para que esta hipótesis se cumpla de manera efectiva, el diseño de la encuesta es fundamental en todas estas técnicas: la encuesta debe concebirse para que las personas perciban las preguntas como problemas reales, minimizando en la medida de lo posible la existencia de sesgos y comportamientos estratégicos por parte de los encuestados.

En general, estas técnicas se pueden agrupar en métodos de valoración contingente y métodos multiatributo. El primer grupo se centra en el carácter holístico de los bienes o servicios que se van a evaluar, mientras que el segundo grupo presta más atención a los atributos que los definen. Estas diferencias determinan el formato de las preguntas y el tratamiento que se da a los datos.

En los *métodos de valoración contingente* se ofrece a los individuos una elección hipotética a cambio de una determinada cantidad de dinero. El tipo de preguntas varía entre distintos estudios y depende de la finalidad de la valoración. Las más sencillas tienen un «formato abierto» y preguntan directamente a los individuos por su disposición a pagar (*WTP*) o su disposición a aceptar una compensación (*WTA*) por el cambio propuesto. Las respuestas pueden entonces analizarse estimando modelos de regresión para explicarlas en función de otras variables. El principal inconveniente de este método es que coloca a los individuos en una posición relativamente poco habitual: en los mercados reales, los individuos deciden entre un conjunto de bienes y servicios con precios bien definidos, y rara vez se enfrentan a situaciones en las que se les pide que hagan una oferta que el vendedor pueda aceptar o rechazar. El resultado es que las encuestas que utilizan este formato con frecuencia arrojan elevadas tasas de falta de respuesta o valores extremos poco probables.

Hay otros formatos de preguntas que suelen extraer menos información, pero que a menudo proporcionan respuestas más útiles. Por ejemplo, en el formato de cuestiones

acotadas con «un solo límite», se pregunta a una submuestra de individuos si pagarían por recibir un bien público, variándose el importe de dicho pago entre las distintas submuestras, que después se comparan. Las respuestas aceptables se limitan normalmente a categorías cerradas que también pueden analizarse mediante técnicas de regresión. Asimismo, en el formato de «doble límite», se pregunta a los encuestados si pagarían una determinada cantidad de dinero para adquirir el bien. Si la respuesta es sí, entonces se les pregunta por un importe mayor (o menor en el caso de que hayan respondido no), y así sucesivamente. Aunque este método, similar a una subasta, puede simplificar la agrupación de los consumidores en diferentes clases de preferencias, su principal problema es que las respuestas a las preguntas sucesivas pueden verse influidas por las anteriores o ser incoherentes con ellas. También son posibles otros formatos (mixtos) de preguntas, pero la elección de uno y otro a menudo depende de cada caso.

Por otra parte, cuando se aplican *métodos multiatributo,*[34] los individuos deben expresar sus preferencias sobre conjuntos de alternativas definidos por atributos que pueden variar en diferentes niveles y depender del objetivo que persiga el estudio. Dado que son precisamente las variaciones de los valores de estos atributos lo que se pretende valorar mediante estas técnicas, es necesario que uno de ellos represente un pago monetario. El número de atributos y niveles no puede ser muy elevado, pues se quiere reducir al mínimo la dificultad de los encuestados para asimilar la información proporcionada. A menudo se necesitan pruebas preliminares para perfeccionar la encuesta y asegurarse de que los atributos incluidos y sus niveles son pertinentes y se entienden con facilidad. Una vez seleccionados los atributos y los niveles se combinan para obtener las diferentes alternativas, que se agrupan de forma aleatoria en conjuntos de opciones coherentes en los que al menos uno de ellos representa la situación actual (sin proyecto).

Después, se presenta a los individuos uno o varios de estos conjuntos para que expresen sus preferencias, ya sea eligiendo solo uno u ordenando un subconjunto de ellos. En el primer caso, cada encuestado selecciona su alternativa preferida; se trata de un tipo de experimento al que les resulta fácil responder, ya que les recuerda, en cierto modo, a lo que sucede en los mercados reales. Sin embargo, desde el punto de vista del investigador, esta variante proporciona menos información. En el ejercicio de clasificación, los individuos deben ordenar todas las alternativas incluidas en el conjunto de opciones según sus preferencias. Este formato ofrece más información, pero plantea dudas sobre la capacidad de los individuos para proporcionar respuestas coherentes cuando el número de alternativas es elevado, cuando tienen preferencias

[34] Por lo general, los métodos multiatributo de toma de decisiones están restringidos a un número discreto y limitado de alternativas fijadas de antemano, que requieren comparaciones entre los distintos atributos y dentro de ellos y plantean disyuntivas implícitas o explícitas. Se incluyen en un conjunto más amplio de metodologías de análisis multicriterio (Zanakis *et a*l., 1998).

similares sobre varias alternativas, o cuando el conjunto de opciones incluye alternativas que los individuos nunca elegirían o no conocen demasiado bien. El análisis empírico de las respuestas a todos estos experimentos se basa generalmente en modelos de utilidad aleatoria (*logit* o *probit*), cuyos parámetros permiten estimar de manera indirecta la disposición a pagar (*WTP*) de los individuos por las variaciones marginales de los niveles de un atributo particular.[35]

6.2. Externalidades ambientales y proyectos de transporte

La incorporación de los efectos ambientales de un proyecto de transporte en su evaluación económica constituye una de las aplicaciones más relevantes de los procedimientos de valoración de los bienes que no se comercializan en los mercados, como la pérdida de salud por parte de los individuos debida a una peor calidad del aire a causa del transporte por carretera o el empeoramiento de la calidad de vida de quienes residen cerca de un aeropuerto. Este proceso se sustenta en tres hipótesis principales: el origen de la externalidad se encuentra en una actividad de producción o de consumo directamente relacionada con el transporte (como la construcción de la infraestructura o su utilización para prestar los servicios de transporte), la actividad de transporte conlleva un efecto importante en la disponibilidad o la calidad de un recurso natural (tierra, aire o agua), y este efecto repercute en el bienestar de individuos que no están directamente implicados en la actividad de transporte (es decir, el resto de la sociedad).

Además, los impactos ambientales del transporte pueden ser positivos para algunos individuos y negativos para otros,[36] no son necesariamente constantes en el tiempo y, por lo general, no son rivales, ya que afectan a varias personas al mismo tiempo sin variar el valor individual del efecto. Así pues, al valorar las externalidades ambientales, se puede usar el valor medio por persona, y luego multiplicarlo por el número de personas afectadas. Si la externalidad es positiva para una parte de la población y negativa para otra, se supone que la agregación de los valores individuales refleja el efecto total en el bienestar social. Sin embargo, las externalidades varían según el modo de transporte o el tipo de infraestructura, según cada fase del proyecto y según el modo en que sus efectos últimos se trasladan a los individuos. Por tanto, los diferentes tipos de efectos externos pueden necesitar enfoques diferentes del ACB, tal como se analiza a continuación.

---

[35] Para las variaciones no marginales de uno o varios atributos a la vez, también existe un método simplificado y usado habitualmente. Según este método, se debe suponer que los valores marginales estimados son constantes para todas las unidades y atributos, y luego hay que agregar esos valores de manera lineal. Sin embargo, se pueden encontrar procedimientos más formales en Hanemann (1982).

[36] Esta sección trata de los impactos negativos. El impacto positivo (aparte del «efecto Mohring», que se analiza a continuación) se examinará en la **Sección 7**, como economías de aglomeración y otros efectos de red.

6.2.1. Ruido

El ruido es una de las principales externalidades asociadas a la construcción y explotación de la mayoría de las infraestructuras y servicios de transporte. Afecta a la calidad de vida en general, a las condiciones de trabajo y a las actividades recreativas, e incluso en algunas personas puede conllevar un deterioro de la salud. Según Navrud (2002), su valoración monetaria suele exigir las siguientes etapas:

1. Estimar un modelo de dispersión del ruido que relacione los efectos incrementales del proyecto con la exposición al ruido en diferentes lugares. Estos efectos pueden medirse en decibelios o en cualquier otro indicador físico de los niveles de ruido.

2. Utilizar funciones de dosis-respuesta para relacionar técnicamente estos indicadores de nivel de ruido con los niveles de malestar, los efectos en la salud u otras consecuencias humanas debidas al aumento del ruido.

3. Determinar diferentes tipos de efectos en la salud asociados a esta externalidad: ya sean puntuales (ruido repentino) o relacionados con una exposición prolongada en el tiempo.

4. Reunir información sobre el número de personas u hogares afectados por el proyecto en cada nivel de malestar establecido por la función de dosis-respuesta. Esta información permitirá finalmente calcular los efectos totales del ruido del proyecto.

5. Definir los valores monetarios para las unidades (niveles de ruido) resultantes de la función de dosis-respuesta. A menudo se usan solo dos tipos diferentes de unidades: un valor monetario medio por decibelio, persona y año, o valores diferentes para cada nivel de malestar (por ejemplo, leve, moderado, grave). Estos valores suelen calcularse mediante modelos de precios hedónicos (aplicados al mercado de la vivienda) o métodos de valoración basados en las preferencias declaradas.

6. Por último, el valor monetario total de los efectos del ruido derivado del proyecto se calcula multiplicando el número total de personas que pueden verse afectadas en cada nivel de malestar de la función de dosis-respuesta por el valor monetario de cada nivel de malestar.

En el *Handbook on the external costs of transport* (Comisión Europea, 2019), actualizado recientemente, se han estimado de forma desagregada los costes del ruido vinculados al transporte para todos los miembros de la Unión Europea (EU-28) mediante el siguiente procedimiento. Primero, se ha calculado el número total de personas expuestas para cada clase de ruido y cada modo de transporte. Después, se obtienen los costes del ruido por persona (que incluyen un valor que refleje la molestia

y otro que mide el impacto sobre la salud) aplicando un método directo basado en la disposición a pagar (*WTP*) y un método indirecto basado en el impacto ambiental. Estos valores se multiplican por las personas expuestas, lo que da como resultado los costes externos totales del ruido para cada modo, que luego se asignan a categorías específicas de vehículos. Por último, se estiman los costes medios del ruido dividiendo los costes totales entre diferentes medidas del output del transporte.

La **Tabla 6.1** resume los costes totales y medios del ruido en el caso del transporte por carretera y ferrocarril correspondientes a pasajeros-km (pkm), vehículos-km (vkm) y toneladas-km (tkm) en euros de 2019.[37] La **Tabla 6.2** refleja los costes medios del ruido en el transporte aéreo de viajeros y mercancías. Los valores del transporte aéreo de viajeros se presentan por operación de aterrizaje y despegue, pasajero y pkm. Los costes medios del transporte aéreo de mercancías se presentan por operación de aterrizaje y despegue, tonelada y tkm.[38]

[37] Los costes a nivel de los países se presentan en una base de datos aparte elaborada por la Comisión Europea (2019). En el caso del transporte por carretera, la base de datos también ofrece los costes totales derivados del transporte en autopista. En el transporte aéreo, los valores se refieren a 33 aeropuertos europeos. En la base de datos figuran los costes a nivel de los aeropuertos.

[38] La Comisión Europea (2019) también proporciona los costes marginales del ruido para el transporte por carretera y ferrocarril, que se diferencian de los costes medios principalmente por la existencia de factores locales que influyen en el nivel de ruido y el nivel de daño y malestar. En el transporte aéreo, tambiéndependen en gran medida de factores específicos (como la densidad de población alrededor de los aeropuertos, la trayectoria de vuelo, el tipo y la tecnología de las aeronaves, la hora del día, etc.) y, por tanto, resulta muy difícil presentar un rango exacto de valores aplicable a todos los proyectos.

Tabla 6.1. Costes totales y medios del ruido en el transporte terrestre

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent por pkm**	**€-cent por vkm**
Automóvil	26,2	0,6	0,9
Automóvil – gasolina	*13,8*	*0,5*	*0,8*
Automóvil – gasoil	*12,4*	*0,6*	*0,9*
Motocicleta	14,8	9,0	9,4
Autobús urbano	0,8	0,4	8,0
Autobús interurbano	0,9	0,2	4,7
Total pasajeros por carretera	**42,6**		
Pasajeros en tren alta velocidad	0,4	0,3	97
Pasajeros en tren eléctrico	2,6	0,8	106
Pasajeros en tren diésel	0,9	1,4	81
Total pasajeros en ferrocarril	**3,9**		
Total transporte de viajeros	**46,5**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent por tkm**	**€-cent por vkm**
Vehículos comerciales ligeros	5,4	1,6	1,1
Vehículos pesados (3.5–7.5 t)	1,0	1,2	4,0
Vehículos pesados (7.5–16 t)	1,8	0,8	5,7
Vehículos pesados (16–32 t)	3,0	0,4	6,5
Vehículos pesados (> 32 t)	3,2	0,4	7,2
Total mercancía por carretera	**14,5**		
Mercancía en tren eléctrico	2,1	0,6	359
Mercancía en tren diésel	0,4	0,4	201
Total mercancía por ferrocarril	**2,5**		
Total transporte de mercancías	**17,1**		
Total transporte terrestre	**63,6**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para la UE-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm). Para pasajeros en trenes eléctricos, los costes totales no incluyen los trenes de alta velocidad.

Tabla 6.2. Costes totales y medios del ruido en el transporte aéreo

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS			
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€/LTO**	**€/pasajero**	**€/ton**	**€-cent/pkm**
Corta distancia (<1500 kms)	0,84	257	2,05	9,04	0,46
Media distancia (1500-5000 kms)					0,11
Larga distancia (>5000 kms)					0,01

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios de euros de 2019 para 33 aeropuertos principales. Los costes medios también se proporcionan mediante operaciones de aterrizaje y despegue (LTO). No existen valores para el transporte aéreo de carga.

6.2.2. Efectos sobre el paisaje

Algunos proyectos de transporte a menudo conllevan una degradación del valor recreativo del territorio en el que se llevan a cabo. Dado que este tipo de efectos es específico de cada lugar, no es posible establecer referencias generales para comparar. La valoración monetaria de estos efectos suele llevarse a cabo mediante el *método del coste de viaje*, aunque esta técnica solo puede reflejar el valor asignado a los servicios de la zona que requieren que las personas se desplacen hasta ella para su disfrute, ignorando otros valores de uso. Los métodos basados en las preferencias reveladas, como la *valoración contingente*, también pueden ser útiles para cuantificar el valor monetario asignado por los individuos que no han expresado sus preferencias al visitar la zona afectada.

El *Handbook on the external costs of transport* considera que los diferentes efectos negativos del transporte sobre la naturaleza y el paisaje se pueden agrupar en tres categorías: la pérdida de hábitat, asociada al uso del suelo que conllevan la infraestructura y los servicios de transporte cuando deterioran los ecosistemas y reducen la biodiversidad; la fragmentación del hábitat, cuando la infraestructura (por ejemplo, una carretera) genera efectos de separación para la vida silvestre y los animales; y la degradación del hábitat debida a las emisiones, lo cual está relacionado con los efectos de contaminación del aire (que se examina a continuación).

En general, hay pocos estudios que analicen los costes externos de los daños al hábitat causados por las actividades de transporte. Por tanto, los costes totales y medios de los daños al hábitat indicados en Comisión Europea (2019) se calculan de acuerdo con el proyecto de investigación INFRAS, que tiene en cuenta la longitud (o el área) de la red de infraestructuras y los factores del coste medio correspondientes a la pérdida de hábitat y la fragmentación del hábitat, como se muestra en la **Tabla 6.3** para los modos de transporte terrestres y en la **Tabla 6.4** para el transporte aéreo.

Por otro lado, según la Comisión Europea (2019), los costes marginales de la pérdida de hábitat son prácticamente cero (solo se generan costes marginales adicionales si se hace necesario mejorar la capacidad de la infraestructura debido a una elevada demanda). Sin embargo, puede suponerse que los costes marginales de la fragmentación del hábitat son sustanciales, y en algunos casos casi tan altos como el coste medio de la fragmentación del hábitat, ya que el tráfico en una carretera dificulta realmente el paso de los animales. Sin embargo, no es posible hacer una estimación que pueda aplicarse con carácter general.

Tabla 6.3. Costes totales y medios de daños al hábitat en el transporte terrestre

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent por pkm**	**€-cent por vkm**
Automóvil	25,9	0,55	0.9
Automóvil – gasolina	*14,1*	*0,54*	*0.9*
Automóvil – gasoil	*11,8*	*0,56*	*0.9*
Motocicleta	0,5	0,33	0.3
Autobús urbano	0,2	0,10	1.9
Autobús interurbano	0,4	0,11	2.2
Total pasajeros por carretera	**27,1**		
Pasajeros en tren alta velocidad	0,7	0,62	185
Pasajeros en tren eléctrico	1,4	0,57	75
Pasajeros en tren diésel	0,5	0,84	49
Total pasajeros en ferrocarril	**2,7**		
Total transporte de viajeros	**29,7**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent por tkm**	**€-cent por vkm**
Vehículos ligeros	4,4	1,35	0.9
Vehículos pesados	3,6	0,19	2.4
Total mercancía por carretera	**8,0**		
Mercancía en tren eléctrico	0,8	0,24	134
Mercancía en tren diésel	0,2	0,25	111
Total mercancía en ferrocarril	**1,0**		
Transporte fluvial	0,3	0,20	2.9
Total transporte de mercancías	**9,3**		
Total transporte terrestre	**39,1**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para la UE-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm). Para pasajeros en trenes eléctricos, los costes totales no incluyen los trenes de alta velocidad.

Tabla 6.4. Costes totales y medios de los daños al hábitat en el transporte aéreo

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/pax**
Corta distancia (<1500 kms)	0,024	0,027	14,9
Media distancia (1500-5000 kms)	0,021	0,007	12,3
Larga distancia (>5000 kms)	0,005	0,0008	6,5
Total pasajeros aéreo	**0,050**	**0,007**	**12,2**
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	
Total mercancías aéreo	**0,006**	**n.a.**	

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para 33 aeropuertos principales. Los costes medios también se proporcionan mediante operaciones de aterrizaje y despegue (LTO).

6.2.3. Contaminación del aire

Además de sus efectos directos sobre la calidad de vida y la salud humana, el aumento de la contaminación del aire asociada a proyectos de transporte puede generar otras alteraciones en las actividades de producción y consumo, como una visibilidad reducida o el deterioro de edificios u otros materiales expuestos. Su medición y su tratamiento en el ACB tienen algunas características similares con los efectos del ruido y se pueden resumir en las siguientes etapas:

1. Determinar las variaciones en los niveles de emisiones causadas por el proyecto en todas sus fases. Esto exige información técnica detallada sobre las características del proyecto, los flujos de transporte y la variabilidad de las emisiones
2. Calcular la dispersión y concentración de las emisiones para analizar el comportamiento de los agentes contaminantes. Este cálculo presenta una complejidad técnica porque la relación entre las emisiones y la concentración de contaminantes no es lineal y depende de numerosos parámetros locales (meteorología, topografía, nivel inicial de concentración, etc.).
3. Medir los efectos de las emisiones sobre los diferentes receptores, de acuerdo con funciones de dosis-respuesta adecuadas, centrándose en particular en la salud humana (mortalidad y morbilidad), los daños materiales (infraestructura) y las pérdidas verificables en la producción agrícola y forestal.
4. Valorar monetariamente estos efectos, según sus características. Por ejemplo, para la evaluación de las pérdidas de cultivos y los daños materiales, se pueden usar los precios de mercado. Sin embargo, la valoración monetaria de las variaciones de la salud de las personas resulta más difícil, ya que debe incluir estimaciones de los gastos médicos que se van a contraer, los costes de oportunidad derivados de la productividad perdida de los afectados y cualquier otra desutilidad causada por la contaminación del aire sobre la salud. Algunos de estos elementos se pueden monetizar usando precios de mercado, pero el último componente, que suele ser el más relevante, exige que se estime la disposición de los individuos a aceptar una compensación para evitar que se produzcan daños en su salud, o su disposición a pagar para reducir el riesgo de morir a causa de las emisiones.

Este procedimiento de cuatro etapas sugiere que no siempre es posible realizar estimaciones precisas de los costes de la contaminación del aire, debido a la cantidad de recursos y tiempo que se necesitaría para hacerlo. Por tanto, es habitual simplificar el proceso de valoración (reduciendo el número de contaminantes o simplificando su modelización) y adaptar las estimaciones realizadas en otros estudios.

Tabla 6.5. Costes totales y medios de la contaminación atmosférica para todos los modos de transporte

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/vkm**
Automóvil	33,36	0,71	1.14
Automóvil – gasolina	*8,58*	*0,33*	*0.53*
Automóvil – gasoil	*24,79*	*1,18*	*1.90*
Motocicleta	1,84	1,12	1.17
Autobús urbano	1,35	0,76	14.19
Autobús interurbano	2,67	0,73	14.34
Total pasajeros por carretera	**39,23**		
Pasajeros en tren alta velocidad	0,002	0,002	0.66
Pasajeros en tren eléctrico	0,03	0,01	1.14
Pasajeros en tren diésel	0,52	0,80	47.0
Total pasajeros en ferrocarril	**0,55**		
Total transporte de viajeros	**39,78**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	**€-cent/vkm**
Vehículos ligeros	15,49	4,68	3.24
Ligeros (gasolina)	*0,33*	*1,72*	*1.17*
Ligeros (diésel)	*15,16*	*4,86*	*3.37*
Vehículos pesados	13,93	0,76	9.38
Total mercancías por carretera	**29,42**		
Mercancías en tren eléctrico	0,01	0,004	2.14
Mercancías en tren diésel	0,66	0,68	305.39
Total mercancías en ferrocarril	**0,67**		
Transporte fluvial	1,93	1,29	1,869
Total transporte mercancías	**32,02**		
Total transporte terrestre	**71,80**		
Transporte aéreo (pasajeros)	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/pax**
Corta distancia (<1500 kms)	0,27	0,30	163
Media distancia (1500-5000 kms)	0,38	0,13	231
Larga distancia (>5000 kms)	0,36	0,06	444
Total transporte aéreo	**1,01**	**0,10**	**246**
Transporte marítimo (carga)	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	
Transporte de mercancías	29	0,4	
Total transporte marítimo	**29**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para la UE-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm). Los gastos de transporte aéreo se calculan para 33 aeropuertos seleccionados. Los datos marítimos solo están disponibles para el transporte de mercancías.

El principal inconveniente de estas extrapolaciones es que los efectos de la contaminación causados por un proyecto de transporte son, en gran medida, específicos de cada proyecto. Aun así, como indica el manual de la Comisión Europea (2019), la existencia de una amplia gama de estudios internacionales (en particular en Europa) ofrece algunos valores de referencia útiles para los costes totales y medios de la

contaminación del aire correspondientes a todos los modos de transporte, como se muestra en la **Tabla 6.5**.

6.2.4. Cambio climático

El impacto de las actividades de transporte sobre el cambio climático está asociado principalmente con la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O). Sin embargo, su evaluación es sumamente compleja porque conlleva efectos a largo plazo de muy diversa naturaleza (inundaciones, incendios forestales, olas de calor o frío, sequías y otros desastres naturales) y una gran incertidumbre sobre su ubicación específica y la relación causa-efecto.

El planteamiento habitual que adopta el ACB para valorar los efectos de un proyecto sobre el cambio climático requiere, en primer lugar, que se cuantifique el aumento de las diferentes emisiones de gases de efecto invernadero causadas por dicho proyecto. Teniendo en cuenta su carácter global, no resulta pertinente determinar dónde y cómo se producen las emisiones. En su lugar, esta cantidad total se convierte en «emisiones expresadas en dióxido de carbono equivalente», usadas como referencia estándar, y este valor se multiplica, por último, por un coste externo de referencia por tonelada para obtener una estimación de la externalidad global.

Existen dos metodologías principales para obtener estos costes externos unitarios asociados al cambio climático (Maibach *et al*., 2008). La primera se basa en los costes de los daños, tratando de establecer los efectos físicos del cambio climático y luego llevando a cabo una valoración monetaria de dichos daños. Los principales inconvenientes de este método residen en la dificultad de determinar cuáles son los efectos que se deben evaluar, predecir su evolución a largo plazo, distribuir geográficamente los distintos efectos y establecer el horizonte temporal para el análisis y la tasa social de descuento adecuada. Un planteamiento alternativo se basa en los costes que se necesitarían para lograr una determinada reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las dificultades que plantea este segundo procedimiento están relacionadas con la definición de los objetivos deseables y la determinación de las zonas (o países) afectados. También presenta el inconveniente de que los valores monetarios no están relacionados con las preferencias de los individuos.

Tabla 6.6. Costes totales y medios del cambio climático para todos los modos de transporte

	COSTE TOTAL	COSTE MEDIO	
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent por pkm**	**€-cent por vkm**
Automóvil	55,56	1,18	1.90
Automóvil – gasolina	*32,02*	*1,22*	*1.97*
Automóvil – gasoil	*23,54*	*1,12*	*1.80*
Motocicleta	1,47	0,89	0.94
Autobús urbano	0,84	0,47	8.83
Autobús interurbano	1,61	0,44	8.66
Total pasajeros por carretera	**59,49**		
Pasajeros en tren diésel	0,22	0,34	20.1
Total transporte de pasajeros	**59,71**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent per tkm**	**€-cent per vkm**
Vehículos ligeros	13,17	3,98	2.75
Ligeros – gasolina	*0,71*	*3,76*	*2.56*
Ligeros – diésel	*12,45*	*3,99*	*2.77*
Vehículos pesados	9,63	0,53	6.48
Total mercancías por carretera	**22,79**		
Mercancías tren diésel	0,24	0,25	112.4
Transporte fluvial	0,40	0,27	383.1
Transporte de mercancías	**23,43**		
Total transporte terrestre	**83,14**		
Transporte aéreo (pasajeros)	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/pax**
Corta distancia (<1500 kms)	2,14	2,39	1,315
Media distancia (1500-5000 kms)	5,50	1,85	3,341
Larga distancia (>5000 kms)	14,37	2,24	17,629
Total transporte aéreo	**22,01**	**2,14**	**5,383**
Transporte marítimo	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	
Transporte mercancías	11	0,16	
Total transporte marítimo	**11**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para la UE-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm). Los gastos de transporte aéreo se calculan para 33 aeropuertos seleccionados. Los datos marítimos solo están disponibles para el transporte de mercancías.

En Comisión Europea (2019) se realizan estimaciones de los costes totales y medios relacionados con el cambio climático para el transporte viario, ferroviario, de navegación interior, aéreo y marítimo, partiendo de los factores de emisión de gases de efecto invernadero por tipo de vehículo, los datos e rendimiento de cada vehículo y los costes asociados al cambio climático por tonelada de dióxido de carbono equivalente. La **Tabla 6.6** resume estos costes para todos los modos de transporte y EU-28, aunque

en el manual de la Comisión Europea *Handbook on the external costs of transport* también se proporcionan los valores de los costes marginales para determinados casos.[39]

6.2.5. Otros costes medioambientales del transporte

Hay otros costes ambientales del transporte cuya medición no siempre resulta sencilla y directa. Por esa razón, tales costes se abordan a menudo mediante métodos cualitativos, describiendo sus principales características en cada caso y proponiendo procedimientos generales para su inclusión en el ACB. Por ejemplo, el impacto ambiental de la contaminación del suelo puede tener efectos sobre las plantas, la productividad agrícola e incluso la salud humana y animal a largo plazo, lo que representa una fuente de complejidad adicional.

A veces esto se evita mediante el uso de técnicas basadas en los costes (valorando los efectos según el coste de sustituir o restaurar el bien ambiental afectado), pero este procedimiento ignora las preferencias de los individuos y puede dar lugar a valores arbitrarios no relacionados con los costes sociales reales. Si es posible, un planteamiento más adecuado consiste en intentar cuantificar efectos particulares (en personas o zonas seleccionadas) mediante funciones de dosis-respuesta (como en el caso del ruido o la contaminación) para su valoración posterior usando los precios de mercado (por ejemplo, en el caso de los efectos sobre la productividad del suelo) o métodos basados en las preferencias declaradas o reveladas (en el caso de los efectos sobre la salud humana). Hay procedimientos similares que resultan válidos para la contaminación del agua, cuyos efectos (incluidos los daños a la vida silvestre, la fauna y las actividades comerciales y recreativas) pueden aparecer mucho tiempo después, y no en el momento inicial de contaminación.

Por último, en lo que respecta a las vibraciones, se trata de un efecto muy específico y basado en la ubicación concreta, que muchos proyectos de transporte a menudo ignoran. Sin embargo, los inconvenientes que causan las vibraciones a los receptores humanos en su ámbito de influencia pueden tratarse como en el caso del ruido; sus efectos negativos en la infraestructura o en determinadas actividades de producción también podrían valorarse usando los precios de mercado.

[39] Obsérvese que incluir tanto los impuestos sobre el dióxido de carbono como los costes climáticos implica una doble contabilización. En el caso del transporte aéreo, la mayoría de los vuelos en el Espacio Económico Europeo exige permisos de emisión (*EU Emission Trading System*) e incluir tanto el coste de los permisos como los costes climáticos también implica una doble contabilización.

6.3. Costes de los accidentes y valor estadístico de la vida humana

Ya sea por fallos mecánicos, por condiciones externas o, con más frecuencia, por errores humanos, los accidentes son sucesos relativamente habituales en las actividades de transporte. Normalmente ocasionan costes sustanciales que incluyen, al menos, dos tipos de componentes: costes materiales (por ejemplo, daños a los vehículos, costes de gestión y costes médicos) y costes inmateriales (por ejemplo, menor duración de la vida, sufrimiento, dolor y aflicción). Se puede usar los precios de mercado para evaluar el primer componente, pero no existe este tipo de precios para los costes inmateriales. Además, una parte de los costes totales de los accidentes ya está internalizada, por ejemplo, a través de las primas de seguro o la contabilización de riesgos que puedan ser anticipados. Esto hace que la valoración de los accidentes en el ACB comparta algunos de los elementos asociados a la evaluación de los efectos ambientales, aunque también tienen sus propias características distintivas.

Desde el punto de vista del ACB, un beneficio típico de muchos proyectos de transporte es la reducción del riesgo derivado del uso de determinadas infraestructuras o servicios. El hecho de mantener adecuadamente o mejorar los vehículos e instalaciones hace que generalmente los viajes sean más seguros, lo que a largo plazo causa menos lesiones graves o muertes. Estas variaciones implican una mejora del bienestar social que debe incorporarse en la evaluación, con independencia del beneficio derivado del ahorro de costes que también podría ser consecuencia del hecho de evitar un accidente. Para evaluar estos efectos, normalmente se analizan las alternativas de los individuos a la hora de elegir entre las variaciones marginales de sus niveles de riesgo y sus ingresos, ya sea en los mercados relacionados (normalmente, el mercado de trabajo, donde se pueden aplicar modelos de salarios hedónicos para estudiar si un individuo aceptaría un trabajo más arriesgado a cambio de un salario más alto) o en mercados hipotéticos (mediante encuestas que revelen las preferencias sobre el riesgo).

Aunque no es posible valorar económicamente cada vida humana en concreto, la medición de los costes inmateriales asociados a las variaciones del riesgo de accidentes de transporte se suele evaluar mediante el «valor de una vida estadística» (*VVE*), que puede diferir en función de los distintos modos, circunstancias de los accidentes y países.[40] Por ejemplo, en Estados Unidos y Canadá el *VVE* se estima mediante estudios sobre el mercado de trabajo, y los valores se sitúan entre 6,9 millones de euros y 4,1 millones de euros, respectivamente. En Europa, el valor de una vida estadística se aproxima mediante estudios sobre la disposición a pagar, normalmente como la expresión del «valor de un año de vida», que se define como la cantidad de dinero que las personas están dispuestas a pagar por un año adicional de esperanza de vida. El

[40] En Viscussi (2018) se puede consultar un examen reciente de los procedimientos técnicos y los valores correspondientes al valor de una vida estadística en todo el mundo.

procedimiento de cálculo habitual de este valor requiere que se confronte a los individuos con sucesivas valoraciones monetarias que se aumentan en una proporción equivalente a la que se requiere para transformar pequeñas variaciones de los niveles de riesgo asociados a una determinada probabilidad de muerte. Por ejemplo, si los individuos estuvieran dispuestos, en promedio, a reducir en 1 por cada 10 000 su riesgo de morir en un accidente a cambio de 100 euros al año, esto implicaría un valor de una vida estadística de 1 millón de euros. El principal problema que plantea este método es que produce estimaciones del valor monetario de las variaciones de 0 a 1 sobre la probabilidad de accidentes mortales usando estimaciones de los valores monetarios obtenidos a partir de variaciones marginales del riesgo.

El valor medio de una vida estadística (*VVE*) en Europa es de 3,6 millones de euros (en precios de 2016), pero, teniendo en cuenta las diferencias de renta entre distintos países y deduciendo la pérdida de consumo (para evitar la doble contabilización con la pérdida de producción bruta), el valor recomendado en Comisión Europea (2019) es de 2,9 millones de euros. Los costes de las lesiones se valoran al 13 % y el 1 % de este VVE respectivamente, en el caso de las lesiones graves y leves.

La **Tabla 6.7** resume los costes externos totales y medios de los accidentes en EU-28 para todos los modos de transporte. En la base de datos que acompaña ese documento se proporcionan los costes desagregados a nivel de los países y para algunos aeropuertos y puertos concretos.[41]

[41] Los costes marginales de los accidentes solo se proporcionan en el manual de la Comisión Europea *Handbook on the external costs of transport* para el transporte por carretera. Para los demás modos de transporte, se considera que dichos costes son iguales a los costes medios, suponiendo que se trata de servicios regulares, lo que implica que el riesgo de accidente depende menos de la cantidad de tráfico para estos modos.

Tabla 6.7. Costes totales y medios de accidentes para todos los modos de transporte

	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS			
Transporte de pasajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent por pkm**			**€-cent por vkm**
Automóviles	210,2	4,5			7,2
Motocicletas	21,0	12,7			13,3
Autobuses	5,3	1,0			18,9
Total pasajeros por carretera	**236,5**				
Pasajeros tren alta velocidad	0,1	0,1			17,3
Pasajeros tren convencional	2,0	0,5			52,2
Total pasajeros ferrocarril	**2,0**				
Total transporte de pasajeros	**238,5**				
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent por tkm**			**€-cent por vkm**
Vehículo ligero	19,8	6,0			4,1
Vehículo pesado	23,0	1,3			15,5
Total mercancías por carretera	**42,8**				
Mercancías en ferrocarril	0,3	0,1			34,1
Transporte fluvial	0,1	0,1			86,3
Total transporte mercancías	**43,1**				
Total transporte terrestre	**281,7**				
Transporte aéreo	**Mill. €**	**€/LTO**	**€/pas.**	**€/ton**	**€-cent/pkm**
Corta distancia (<1500 kms)	75,01	22,95	0,18	0.81	0.04
Media distancia (1500-5000 kms)					0.01
Larga distancia (>5000 kms)					0.001
Transporte marítimo	**Mill. €**	**€ por estancia en puerto**			**€ por mill. pas.**
Buque de pasajeros	3,3	26			40,996
Transporte marítimo	**Mill. €**	**€ por estancia en puerto**			**€ por mill. tons**
Buque de carga	63,3	318			36,524

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2016 para la UE28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm). Los costes de transporte aéreo se calculan para 33 aeropuertos seleccionados con datos por operaciones de aterrizaje y despegue (LTO). Los costes por pasajero incluyen el trayecto completo. Los datos marítimos solo están disponibles para el transporte de mercancías.

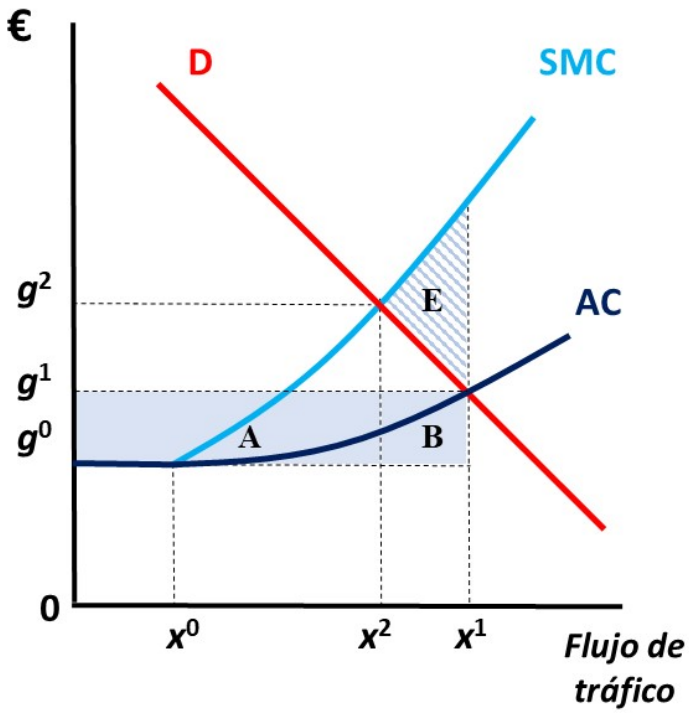
6.4. La congestión como externalidad

La congestión es una circunstancia que aparece en algunos modos de transporte a medida que aumenta el número de usuarios de una infraestructura determinada y los vehículos se retrasan progresivamente en sus desplazamientos. Al disminuir la velocidad media aumenta el tiempo de viaje de los usuarios y, por tanto, su precio generalizado, lo que reduce el bienestar social. La congestión suele asociarse al transporte por carretera urbano e interurbano, donde los costes de la congestión se pueden calcular a partir las relaciones funcionales entre la velocidad de circulación y el flujo de tráfico. Este método no puede extenderse al transporte regular, ya que estos prestan servicios que ya están planificados en función de la capacidad de las redes de transporte. Sin embargo, en el caso de las estaciones de autobús o de tren, o de las terminales portuarias o aeroportuarias, también puede haber congestión en algunos procesos imprescindibles para el tránsito de pasajeros o mercancías (controles de seguridad, aduanas, acceso por puertas de embarque, etc.).

También se ha observado (Mohring, 1972) que puede existir una externalidad positiva opuesta relacionada con la reducción del tiempo de viaje cuando la frecuencia de un servicio de transporte regular (por ejemplo, el número de autobuses que pasa cada hora por una parada) es incrementado cuando la empresa observa un aumento en el número de usuarios, lo cual implica menores tiempos de espera para cada uno de ellos. Aunque su validación empírica no siempre es sencilla, este «efecto Mohring» se aduce a menudo para justificar la necesidad de subvenciones al transporte público, alegando que se necesitan para lograr un sistema de tarificación basado en los costes marginales, ya que el coste medio de un pasajero-viaje incluye el tiempo de espera medio, mientras que su coste marginal (más bajo) solo incluye el tiempo de espera medio menos la disminución del tiempo de espera total causada por el aumento de la frecuencia.

En cualquier caso, la congestión puede considerarse una externalidad en la medida en que es un efecto generado por determinados usuarios de una infraestructura o servicio de transporte que no tienen en cuenta los costes que imponen al resto de los usuarios. Sin embargo, también tiene efectos «internos», ya que todos los usuarios afectados por la congestión son, al mismo tiempo, causa y efecto de la misma situación (aunque no todos la sufren por igual). Debido a esta característica, los costes de la congestión a veces se excluyen de una contabilización explícita de las externalidades del transporte en el ACB y simplemente se contabilizan en las variaciones del tiempo de viaje. Si bien este sistema puede resultar adecuado a la hora de elaborar las cuentas sociales para el sector del transporte, la magnitud de estos costes implica que en la evaluación del proyecto no se pueden pasar por alto los efectos de la congestión. Además, la búsqueda de soluciones para reducir la congestión es con frecuencia una de las principales preocupaciones de quienes formulan las políticas de transporte.

Figura 6.1. Costes de congestión vial: coste de los retrasos y tiempo de viaje perdido



Fuente: Adaptado de la Comisión Europea (2019).

La Comisión Europea (2019) se centra principalmente en los costes de la congestión en carretera, que se estiman aplicando dos métodos diferentes: el *coste de los retrasos* y la *pérdida irrecuperable de eficiencia*. Para ilustrarlos, consideremos la modelización de la relación velocidad-flujo reflejada en la **Figura 6.1**, donde el eje horizontal representa el número de vehículos por hora en una carretera y el eje vertical refleja los costes de los usuarios, desde el punto de vista de su precio generalizado (considerando el mismo valor del tiempo para todos los usuarios). De izquierda a derecha, si el flujo de tráfico es inferior a la capacidad máxima de la carrera (x^0), los vehículos viajan a una velocidad sin congestión, y el coste de cada viaje para los usuarios es igual a g^0. A medida que aumenta el número de vehículos, se incrementa el tiempo de viaje como resultado de la congestión (para $x > x^0$) y el coste de viaje medio soportado por cada usuario aumenta de acuerdo con su función de coste (privado) medio, *AC*, hasta determinar el equilibrio en el punto de corte con la función de demanda, *D*. El «método del coste de los retrasos» define el coste de la congestión de la carretera como el valor del tiempo de viaje perdido en relación con una situación sin congestión, es decir, los rectángulos **A + B**.

Por otro lado, *SMC* representa la función del coste marginal social, que es igual al coste de viaje medio que soporta cada usuario de la carretera *AC* más el coste del tiempo de viaje adicional, generado por el vehículo marginal que reduce la velocidad de todos los

demás vehículos. El «método de la pérdida irrecuperable de eficiencia» toma como referencia la solución óptima desde el punto de vista social (donde se cortan la función de demanda y el coste marginal social) y considera que el coste externo de la congestión viene dado por los costes asociados a la demanda en exceso con respecto a x^2 (**área E**).

Las estimaciones de los costes de congestión basadas en esta pérdida irrecuperable de eficiencia se consideran un punto de partida adecuado para implementar mecanismos de tarificación por congestión, mientras que, en general, el método del coste de los retrasos resulta más útil desde el punto de vista del ACB, ya que refleja el coste total de la congestión de manera (parcialmente) comparable con los costes de otras externalidades. En ambos casos, los costes medios de la congestión pueden obtenerse dividiendo la estimación del coste total entre los correspondientes flujos de tráfico urbano e interurbano (en vkm).

En el transporte regular de viajeros, la probabilidad de que se produzca un «aumento del tiempo de viaje» está relacionada con programación de las empresas y la asignación de franjas horarias, por lo que el coste externo en estos casos se puede clasificar en dos categorías (Comisión Europea, 2019):

- «costes de la congestión», cuando un servicio programado retrasa otro. Aunque los horarios se diseñen para evitar que esto ocurra, podría darse el caso de que, con altos niveles de utilización de una infraestructura (por ejemplo, un aeropuerto), la presencia de un servicio programado adicional conlleve un retraso adicional para otros; y

- «coste de la escasez», cuando la presencia de un servicio programado impide que otro servicio programado opere o lo obliga a tomar una franja horaria inferior. Por tanto, los costes de la escasez se producen siempre que se reserva una franja horaria. Los costes de la escasez representan el coste de oportunidad para los proveedores de servicios por la falta de disponibilidad de horas de salida o llegada deseadas.

El *Handbook on the external costs of transport* establece de forma explícita que, para estimar todos estos costes de la congestión, se necesita una gran cantidad de información (por ejemplo, densidad de tráfico, combinación de horarios, índices de fiabilidad, retrasos medios, etc.). Las estimaciones son también muy específicas para cada contexto y, por tanto, muy sensibles a las diferentes condiciones del tráfico. Por estas razones, solo se proporcionan valores de referencia para los costes totales de congestión de las carreteras y autopistas interurbanas en EU-28 (además de Noruega y Suiza), usando el método del coste de los retrasos y el método de la pérdida irrecuperable de eficiencia, ajustados en función de los tipos de carretera, los diferentes niveles de capacidad y otras simplificaciones, como se muestra en la **Tabla 6.8** y la **Tabla 6.9**.

Tabla 6.8. Costes totales y medios de congestión vial (todas las carreteras)

	MÉTODO COSTE DE LOS RETRASOS			MÉTODO PÉRDIDA EFICIENCIA		
	COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS		COSTES TOTALES	COSTES MEDIOS	
Transporte de pasajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/vkm**	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/vkm**
Automóvil	196,1	4,2	6,7	33,5	0.7	1.1
Urbano	*160,8*	*11,0*	*17,7*	*28,0*	*1.9*	*3.1*
Interurbano	*35,3*	*1,1*	*1,7*	*5,5*	*0.2*	*0.3*
Autobús	4,5	0,8	15,9	0,8	0.1	2.7
Urbano	*3,9*	*1,8*	*35,5*	*0,7*	*0.3*	*6.1*
Interurbano	*0,5*	*0,2*	*3,1*	*0,1*	*0.0*	*0.5*
Total pasajeros	**200,6**			**34,3**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	**€-cent/vkm**	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	**€-cent/vkm**
Vehículo ligero	55,5	16,8	11,6	9,4	2.8	2.0
Urbano	*46,5*	*39,6*	*27,4*	*8,0*	*6.8*	*4.7*
Interurbano	*9,0*	*4,2*	*2,9*	*1,4*	*0.7*	*0.5*
Vehículo pesado	14,6	0,8	10,9	2,5	0.1	1.8
Urbano	*11,6*	*2,5*	*34,1*	*2,0*	*0.4*	*6.0*
Interurbano	*3,0*	*0,2*	*3,0*	*0,5*	*0.0*	*0.5*
Total mercancías	**70,1**			**11,9**		
Total transporte por carretera	**270,7**			**46,2**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para EU-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm).

Tabla 6.9. Costes totales y medios de congestión (autopistas interurbanas)

	MÉTODO COSTE DE LOS RETRASOS			MÉTODO PÉRDIDA EFICIENCIA		
Transporte de viajeros	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/vkm**	**Miles de mill. €**	**€-cent/pkm**	**€-cent/vkm**
Automóvil	3,2	0,28	0,45	0,7	0.06	0.10
Autobús	0,1	0,05	0,89	0,02	0.01	0.20
Total viajeros	**3,3**			**0,7**		
Transporte de mercancías	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	**€-cent/vkm**	**Miles de mill. €**	**€-cent/tkm**	**€-cent/vkm**
Vehículos ligeros	0,9	1,2	0,83	0,2	0.3	0.19
Vehículos pesados	0,4	0,06	0,88	0,1	0.01	0.20
Total mercancías	**1,3**			**0,3**		
Total autopistas	**4,6**			**1,0**		

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores agregados y medios en euros de 2019 para EU-28. Los costes medios son por pasajero-km (pkm), vehículo-km (vkm) y tonelada-km (tkm).

Por lo que respecta a los modos de transporte regulares, el manual de la Comisión Europea no proporciona fuentes útiles para realizar estimaciones comparables de los

costes de la congestión o de la escasez. De hecho, se afirma que deben internalizarse en su mayoría en la propia planificación del servicio y en la tarificación de la infraestructura (véase la **Sección 4**).[42] Por ejemplo, en los ferrocarriles existen métodos para fijar el precio de la capacidad de las vías según las características del servicio. Sin embargo, no hay información clara que indique que los costes reales reflejen siempre la escasez de franjas horarias. Los costes de congestión de una red ferroviaria también se pueden estimar a partir de la información sobre los retrasos en cadena de los trenes, multiplicados por el número de pasajeros afectados y por un valor medio de tiempo adecuado. Si se excluyen las indemnizaciones por retraso pagadas a los usuarios, no son muchos los costes que deben soportar los administradores y los operadores de la infraestructura a causa de la congestión. Sin embargo, incluir estas indemnizaciones y otras estimaciones relativas a los costes de congestión supondría una doble contabilización.

Aunque la congestión en los servicios públicos de transporte urbano generalmente recibe menos atención en el ACB, puede ser una fuente importante de desutilidad en las horas punta, o cuando un proyecto de transporte desvía usuarios desde el transporte privado, lo que aumenta la aglomeración en los autobuses, los tranvías o la red de metro y reduce el bienestar social para todos los demás pasajeros. Esta externalidad también puede conducir a un uso subóptimo del sistema de transporte público y podría utilizarse para justificar impuestos relacionados con la congestión. Una vez más, el principal problema que plantea esta cuestión es que es muy específica de cada ciudad, por lo que resulta difícil obtener valores generales comparables.

En el transporte aéreo, los costes de la congestión están asociados a la falta de capacidad suficiente para responder a la demanda requerida. Aunque los vuelos están programados con antelación mediante franjas horarias, cualquier perturbación introducida por factores exógenos (mal tiempo, huelgas, etc.) genera efectos en cadena y acumulación de retrasos. Los costes de la congestión por compañía aérea y aeropuerto se pueden estimar utilizando la información sobre los retrasos reales (o medios) de sus vuelos y transformándola luego en valores monetarios mediante sus correspondientes costes directos (por ejemplo, el combustible adicional durante períodos prolongados de rodaje o vuelo en círculos, las horas-extra pagadas a la tripulación y el personal de tierra, etc.) y los indirectos (ingresos perdidos). Para los pasajeros, si se dispone del tiempo de retraso por vuelo, este debe multiplicarse por el número de pasajeros afectados, utilizando las cifras reales o aproximándolas mediante la capacidad de los aviones y los factores medios de carga estimados.

---

[42] Dado que la estimación de los costes de la escasez es sumamente compleja, se ha sugerido (Quinet, 2003) usar subastas para revelar la disposición a pagar (*WTP*) de los usuarios por la capacidad, un procedimiento que ya han aplicado algunas compañías aéreas para solucionar los problemas de sobreventa.

Por último, por lo que se refiere al transporte fluvial y marítimo, no suele ser posible aproximar fácilmente los costes marginales de la congestión en la Unión Europea (2019) en dichos modos. De hecho, Christidis y Brons (2016) indican que los costes de la congestión en el transporte de mercancías en ellos pueden considerarse insignificantes para la mayoría de los Estados miembros de la Unión Europea.

6.5. Valor del ahorro de tiempo

La relevancia del valor del tiempo, no solo para estimar los costes de la congestión, sino también como parámetro fundamental para evaluar las variaciones de los precios generalizados, hace que sea importante analizar algunas de sus características particulares en el contexto del ACB. En general, el valor de este (ahorro de) tiempo se puede calcular de forma aproximada mediante el correspondiente salario por hora para el tiempo de trabajo (véase la **Sección 2**), o a través de una proporción de los ingresos per cápita para el tiempo de ocio. Por otra parte, también se puede valorar el ahorro de tiempo aplicando métodos de valoración contingente para estimar la disposición a pagar de los usuarios por viajar más rápido. Aunque en teoría es más riguroso y específico, este segundo método solo se recomienda para proyectos en los que el ahorro de tiempo constituya el principal beneficio y se necesita una medición más precisa de éste.

Hay otras consideraciones que pueden resultar útiles para la estimación práctica del valor del tiempo. En primer lugar, debido a variaciones de la productividad, es posible que el valor del tiempo no se mantenga constante en el tiempo; por ello, a menudo se supone que dicho valor crece al mismo ritmo que la renta real per cápita, pero puede ser aconsejable llevar a cabo un análisis de sensibilidad en relación con este supuesto. También es posible considerar diferentes valores en función de los componentes del tiempo de viaje. En general, se recomienda usar valores del «tiempo de espera» y valores del «tiempo de acceso» superiores al valor del tiempo pasado «a bordo del vehículo» (aumentándolos con factores que pueden llegar a ser superiores a 2). Asimismo, para penalizar la congestión, la Unión Europea recomienda aplicar una prima del 50 % al valor normal del tiempo, debido a que los usuarios valoran más su tiempo en situaciones de atascos o cuando los vehículos de transporte están abarrotados, por ejemplo. Otros manuales también proponen de forma explícita tener en cuenta otros factores, como el confort, la comodidad, la fiabilidad o la seguridad, aunque hay poco consenso a este respecto.[43] Las tablas que figuran a continuación resumen estas recomendaciones para España y la Unión Europea, usando HEATCO (2006) como fuente de referencia principal.

[43] Hoy en día, los pasajeros pueden trabajar, ver películas y realizar otras actividades mientras viajan. Esta posibilidad será más frecuente en el futuro (debido a los vehículos autónomos), lo que podría afectar considerablemente al valor del tiempo de viaje.

Tabla 6.10. Valor del tiempo de transporte ahorrado en el tiempo de trabajo (pasajeros)

Aéreo		Autobús		Automóvil/tren	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
30,77	32,80	17,93	19,11	22,34	23,82
(35,74)	(32,80)	(20,83)	(19,11)	(25,95)	(23,82)

Fuente: Adaptado de HEATCO (2006). Los valores se expresan en euros de 2002 por pasajero-hora. Los términos entre paréntesis se ajustan PPP. El promedio de la UE no incluye a Rumanía, Bulgaria y Croacia.

Tabla 6.11. Valor del tiempo de transporte ahorrado en el tiempo no laboral (pasajeros)

Corta distancia (viaje al trabajo)					
Aéreo		Autobús		Automóvil/tren	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
12,72	12,65	6,12	6,10	8,52	8,48
(14,77)	(12,65)	(7,11)	(6,10)	(9,90)	(8,48)
Corta distancia (otros motivos)					
Aéreo		Autobús		Automóvil/tren	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
10,66	10,61	5,13	5,11	7,15	7,11
(12,38)	(10,61)	(5,96)	(5,11)	(8,30)	(7,11)
Larga distancia (viaje al trabajo)					
Aéreo		Autobús		Automóvil/tren	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
16,33	16,25	7,87	7,83	10,94	10,89
(18,96)	(16,25)	(9,14)	(7,83)	(12,71)	(10,89)
Larga distancia (otros motivos)					
Aéreo		Autobús		Automóvil/tren	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
13,69	13,62	6,59	6,56	9,18	9,13
(15,90)	(13,62)	(7,66)	(6,56)	(10,66)	(9,13)

Fuente: Adaptado de HEATCO (2006). Los valores se expresan en euros de 2002 por pasajero-hora. Los términos entre paréntesis se ajustan PPP. El promedio de la UE no incluye a Rumanía, Bulgaria y Croacia.

Tabla 6.12. Valor del tiempo de transporte ahorrado en transporte de mercancías

Transporte aéreo		Carretera		Ferrocarril	
España	**Media UE**	**España**	**Media UE**	**España**	**Media UE**
n.d.	n.d.	2,84	2,98	1,17	1,22
n.d.	n.d.	(3,30)	(2,98)	(1,36)	(1,22)

Fuente: Adaptado de HEATCO (2006). Los valores se expresan en euros de 2002 por tonelada-hora. Los términos entre paréntesis se ajustan PPP. El promedio de la UE no incluye a Rumanía, Bulgaria y Croacia.

7. EFECTOS INDIRECTOS Y WIDER ECONOMIC BENEFITS DE LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE

7.1. Beneficios directos e indirectos en el análisis coste-beneficio

Los cálculos basados en el excedente del consumidor que se realizan en el ACB convencional reflejan los beneficios potenciales de un proyecto de transporte tanto para los nuevos usuarios del mismo como para los ya existentes. Estos beneficios se derivan de las variaciones en el precio generalizado del viaje y son los denominados «beneficios directos para el usuario», constituyendo el mayor componente de los beneficios en el análisis coste-beneficio convencional.

Desde el punto de vista teórico, sabemos que, en condiciones de competencia perfecta, rendimientos constantes a escala, y en ausencia de fallos de mercado, los beneficios directos para el usuario reflejarán todos los efectos económicos de una mejora del transporte. Sin embargo, en la práctica, los fallos de mercado y las economías de escala son, por lo general, muy comunes en la economía espacial, y esto ha hecho que la metodología del ACB evolucione para reflejar los denominados «*wider economic benefits*» (véase, por ejemplo, Venables, 2007, Mackie *et al*., 2012, Graham y Gibbons, 2019). Los *wider economic benefits* son beneficios que se añaden a los beneficios convencionales para los usuarios precisamente porque surgen de factores que generan fallos de mercado y porque van más allá de los denominados beneficios indirectos.

Para que los beneficios indirectos y los *wider economic benefits* incidan de alguna manera en la evaluación económica de los proyectos, se requiere que existan distorsiones en los mercados. Los efectos de las mejoras del transporte en los mercados secundarios son irrelevantes (desde el punto de vista de la eficiencia) si el resto de la economía es perfectamente competitiva. Los efectos indirectos de los proyectos de transporte van desde efectos en los mercados secundarios no relacionados con el transporte hasta efectos intermodales. En ambos casos, el ahorro de tiempo en el mercado primario es un efecto intermodal. Los productos de los mercados secundarios son complementos o sustitutos del mercado de transporte primario. El tratamiento de estos denominados «efectos indirectos» es similar para cualquier mercado secundario (Harberger, 1965, Mohring, 1976).

La práctica habitual consiste en ignorar los efectos indirectos, bajo el supuesto de mercados perfectamente competitivos o a la realidad de diferentes efectos de distinto signo en la economía y el similar efecto de segundo orden de equilibrio general de las inversiones alternativas. Los efectos intermodales podrían tratarse como un único mercado de transporte primario, o, si se consideran como efectos indirectos, incluirse en la evaluación económica, teniendo en cuenta su importancia en la rentabilidad final del proyecto. Los efectos intermodales secundarios pueden ser positivos o negativos en

función del signo de la distorsión y de la elasticidad cruzada, pero, en el caso de que exista una tarificación óptima (como cuando se aplica a la tarificación por congestión en carretera o las tasas de congestión en aeropuertos), no hay ningún beneficio adicional en estos mercados (de Rus, 2011).

7.2. Factores que generan *wider economic benefits*

En la práctica actual del ACB se suelen reconocer tres categorías de *wider economic benefits*:

1. **Competencia imperfecta:** las mejoras del transporte pueden entrañar una reducción de los costes de interacción entre los agentes económicos en una economía espacial, lo que puede permitir que las empresas aumenten la producción de manera rentable. La expansión de la producción genera una ganancia de bienestar en los mercados en situación de competencia imperfecta cuando la disposición a pagar por el aumento de la producción supera el coste de generarla.

2. **Ingresos fiscales procedentes de los efectos en el mercado de trabajo:** las decisiones que toman las empresas y los trabajadores sobre dónde ubicarse están afectadas por la accesibilidad que ofrece el sistema de transporte. Si la accesibilidad mejora y da lugar a que las empresas y los trabajadores se desplacen a ubicaciones más productivas, o a que tengan una mayor participación en los mercados de trabajo, el resultado será una ganancia financiera tangible (es decir, mayores salarios o productividad). La mayor parte de esta ganancia se refleja en los cálculos basados en el excedente del consumidor, pero no ocurre lo mismo con la variación de la recaudación fiscal para el gobierno (por el impuesto sobre la renta, la seguridad social o el impuesto de sociedades).

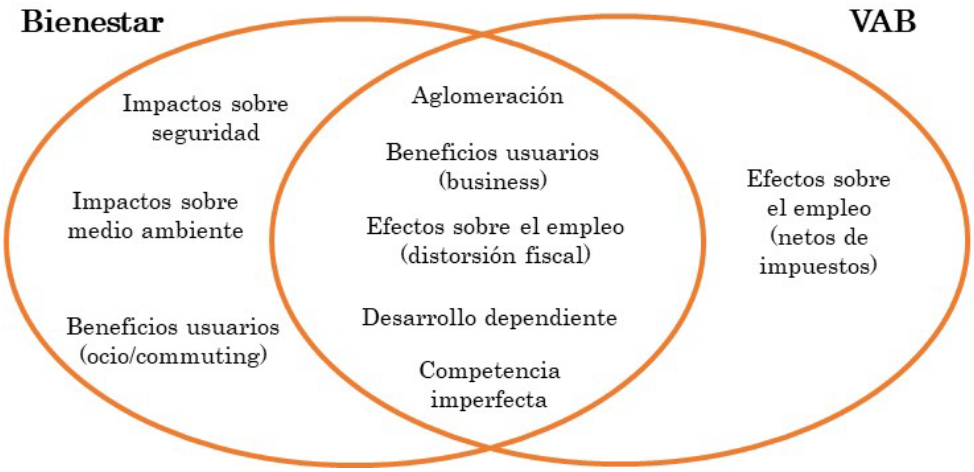
3. **Economías de aglomeración:** las mejoras del transporte pueden aumentar la escala potencial de las interacciones económicas que se dan en la economía, lo que tiene implicaciones para el nivel relativo de aglomeración que experimentan las empresas. Básicamente, la mejora del transporte aumenta la accesibilidad a la actividad económica y esto da lugar a economías de escala de aglomeración.

Estos tres factores generadores de beneficios tienen, por supuesto, efectos en el producto interior bruto (PIB) neto o en el valor añadido bruto (VAB), y, de hecho, como se muestra en la siguiente figura, sus efectos en el bienestar son equivalentes a los que se producen en el PIB.

La **Figura 7.1** ilustra que el PIB y el bienestar no se suman. Los únicos beneficios que representan mejoras en el bienestar por encima de los beneficios directos para el usuario surgen de las distorsiones y los fallos en los mercados secundarios. Estos incluyen

efectos derivados de la competencia imperfecta, impuestos sobre el salario debido al aumento del empleo (efecto en el mercado de trabajo), y la aglomeración.

Figura 7.1: La relación entre el bienestar y el valor añadido bruto



Fuente: DfT (2016).

7.3. Incorporación de los *wider economic benefits* a la evaluación del transporte

De los tres factores generadores de *wider economic benefits* que se han definido anteriormente, la práctica actual en materia de evaluación ha centrado casi toda su atención en los efectos que las economías de aglomeración tienen en la productividad. En el Reino Unido no suelen evaluarse los *wider economic benefits* debidos a la competencia imperfecta, y los beneficios derivados de los efectos en el mercado de trabajo se valoran mediante un incremento fijo que no es específico de ningún proyecto (véase Dft, 2016).

La concentración en los efectos de la aglomeración ha surgido porque se considera que estos efectos son, con diferencia, la mayor fuente de *wider economic benefits* y porque pueden cuantificarse con un grado razonable de exactitud a través de métodos econométricos de probada eficacia (para un análisis de este tema, véase Graham y Gibbons, 2019).

A continuación, explicamos por qué la aglomeración o el acceso a la actividad económica son importantes para la productividad y cómo puede afectar el transporte a esta relación básica.

7.4. Vínculo entre la aglomeración, la productividad y el suministro de transporte

Una característica omnipresente de la distribución de la actividad económica es una tendencia hacia la concentración espacial o aglomeración. La teoría económica afirma que el proceso de aglomeración se ve impulsado por la presencia de ventajas productivas tangibles en forma de economías de aglomeración urbana. Entre estos beneficios externos se incluyen unas mayores oportunidades de trabajo, las interacciones de la tecnología, la especialización y el intercambio de *inputs* y productos (Duranton y Puga, 2004). Se considera que estas «fuentes» de las economías de aglomeración dan lugar una mayor productividad y a unos costes medios más bajos para las empresas. Además, debido a los rendimientos crecientes, cuanto mayor sea la escala de la aglomeración, mayores serán los beneficios de productividad que se obtengan.

Existe una relación inherente entre el transporte y las externalidades de la aglomeración. La importancia de los costes de transporte es fundamental para generar tendencias hacia la concentración espacial y, de hecho, el nivel de acceso a la actividad económica que experimenta cualquier empresa depende en gran medida de la dotación de infraestructuras y servicios de transporte. Esto se debe a que el sistema de transporte determina en cierta medida la proximidad o la facilidad de acceso a otras empresas y a otros mercados de trabajo. El transporte puede modificar el nivel de aglomeración que experimentan las empresas y los trabajadores, al permitirles acceder a una mayor escala de actividad.

Esto implica que puede haber consecuencias de la inversión en transporte que estén específicamente relacionadas con la aglomeración. Básicamente, el argumento es que, si hay rendimientos crecientes de la concentración espacial, y si el transporte determina en parte el nivel de concentración o densidad que experimentan las empresas y los trabajadores, entonces la inversión en transporte puede inducir algún cambio en la productividad a través de las externalidades de la aglomeración.

7.5. Valoración de los efectos económicos generales de la aglomeración en la evaluación del transporte

Para valorar los efectos en la productividad inducidos por el transporte como consecuencia de la variación que experimenta la aglomeración, tenemos que calcular las variaciones de la cantidad y las variaciones de los valores:

i. **Variación de la cantidad:** variación de la aglomeración causada por una mejora del transporte.

ii. **Variación del valor:** respuesta de la productividad a una variación de la aglomeración (es decir, elasticidad de la aglomeración).

A continuación, analizamos cada una de estas variaciones.

7.5.1. Medición de la variación de la aglomeración

Las mediciones de la aglomeración suelen calcularse como indicadores que representan el acceso a la actividad o masa económica. Normalmente, esto se hace en forma de medición de la densidad efectiva del acceso a la masa económica a nivel de zona, donde desde cualquier zona *i* la densidad efectiva viene dada por

$$ED_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{M_j}{d_{ij}^{\alpha}} ,$$

donde M es un indicador de la masa económica en la zona j (por ejemplo, el empleo), d_{ij} es una medición de la impedancia entre la zona i y j (por ejemplo, la distancia, el tiempo de viaje o el precio generalizado), y α es un parámetro que determina el decaimiento espacial de la aglomeración (véase, por ejemplo, Graham y Gibbons, 2019).

Las mejoras del transporte pueden modificar la medición de la densidad efectiva de dos maneras:

i. **Variación estática de la aglomeración:** al mejorar los tiempos de viaje del sistema de transporte, se reducirán los precios generalizados, lo que dará lugar a un aumento de la aglomeración mediante una reducción de las dificultades para trasladarse (impedancia). Esta variación, denominada variación «estática» de la aglomeración, funciona solo a través de la impedancia y asume que la masa económica en cada zona se mantiene constante antes y después de la mejora del transporte.

ii. **Variación dinámica de la aglomeración:** al mejorar el sistema de transporte, las actividades económicas también pueden elegir modificar su ubicación, lo que altera las masas en las zonas. Las variaciones «dinámicas» explican la variación de la distribución física de la aglomeración (o el equilibrio espacial en el uso del suelo).

Para evaluar las variaciones estáticas de la aglomeración se utiliza un modelo de transporte orientado a predecir las variaciones de los tiempos de viaje o del precio generalizado, es decir, cambios en la impedancia. Para evaluar las variaciones dinámicas puede ser necesario adoptar un modelo de uso del suelo o modelo de interacción entre el uso del suelo y el transporte (*land-use transport interaction model* o LUTI), a fin de predecir cómo será el equilibrio espacial tras la mejora del transporte.

7.5.2. Estimación de la elasticidad de la productividad con respecto a la aglomeración

El segundo elemento que se necesita para evaluar la magnitud de los beneficios que conllevan las inversiones en transporte para la aglomeración es la estimación cuantitativa de los rendimientos de la aglomeración urbana. Dicho de otro modo, necesitamos una verificación empírica de la existencia y la magnitud de la relación entre la productividad y la escala o densidad urbana. Preferiblemente, deseamos examinar esta relación por separado para diferentes sectores de la economía porque sabemos que algunos sectores están más urbanizados que otros y, por tanto, es probable que ganen más con la aglomeración.

Para ello estimamos las elasticidades de la productividad con respecto a la aglomeración, que representamos mediante ρ, para sectores definidos de la economía. En general, se necesitan dos fuentes de datos para llevar a cabo la estimación:

i. **Representación de la varianza espacial de la productividad:** esto se consigue normalmente a través de datos sobre la producción de las empresas con referencias espaciales, relativos a los productos o los *inputs*, o datos sobre los salarios con referencias espaciales.

ii. **Representación de la varianza espacial de la aglomeración:** como ya se ha mencionado, las mediciones de la densidad efectiva pueden calcularse a nivel de zona para representar la aglomeración utilizando mediciones adecuadas de la masa y la impedancia.

Con estas dos fuentes de datos podemos llevar a cabo la estimación econométrica de la elasticidad de la aglomeración. Nuestro objetivo es estimar el efecto de la aglomeración en la productividad.

Con datos a nivel de empresa, la productividad se representa en un modelo de productividad total de los factores, que determina una relación estadística entre la producción (es decir, de empresas, ciudades, regiones, etc.) y los factores productivos (es decir, mano de obra, capital, materiales, etc.). Esto se hace a través de un modelo de función de producción, que especifique la naturaleza de la relación entre los *inputs* que se utilizan en la producción y los productos que se generan. Para evaluar el efecto de la aglomeración en la productividad, se incluye una medición de la densidad efectiva (*ED*) en la función de producción como elemento desplazador de la productividad (ω) y una estimación de la elasticidad de la aglomeración:

$$\rho = \frac{\partial \log \omega}{\partial \log ED}.$$

Con datos sobre los salarios, la productividad se representa como productividad de la mano de obra. Los modelos para la productividad de la mano de obra suelen partir del

supuesto de que los *inputs* de los factores se pagan al valor de su producto marginal, y luego adoptan el salario (es decir, para los trabajadores, las ciudades, las regiones, etc.) como medición implícita de la productividad de la mano de obra. Las ecuaciones de estimación de los salarios se pueden derivar de las funciones de producción suponiendo que las empresas adoptan un comportamiento optimizador (esto es, la maximización de los beneficios o la minimización de los costes). Asimismo, a nivel de trabajadores individuales, podemos definir una ecuación en la que el salario (productividad) de algunos trabajadores en una ubicación determinada se explique por un conjunto de variables específicas para cada trabajador (educación, edad, cualificaciones, etc.) y un conjunto de características «ambientales» que incluyan las economías de aglomeración. De nuevo, el objetivo es estimar la elasticidad de la aglomeración, en este caso determinada por

$$\rho = \frac{\partial \log w}{\partial \log ED},$$

donde w es una medición del salario usado para representar la productividad.

Sea cual sea el método adoptado, hay tres cuestiones fundamentales que determinan el carácter específico de los modelos que se van a estimar:

1. **Desglose sectorial:** la información empírica existente muestra que la magnitud de las elasticidades de la aglomeración suele variar entre los distintos sectores de la economía. Por esta razón, la estimación de los modelos de productividad total de los factores o de productividad de la mano de obra debería, en la medida de lo posible, realizarse por separado para obtener un grado de desagregación razonable por sectores económicos. Esto es importante para evaluar los beneficios de los sistemas de transporte, ya que la composición sectorial local de la economía puede influir en gran medida en la magnitud que podrían tener los beneficios de la aglomeración. Las actuales estimaciones de la elasticidad utilizadas en el Reino Unido proporcionan una desagregación amplia de la economía en cuatro sectores: manufactura, construcción, servicios al consumidor y servicios a las empresas.

2. **Tipo de datos:** los valores de la elasticidad de la aglomeración pueden estimarse a partir de datos de corte transversal o datos de panel. En una sección transversal se dispone de una muestra de unidades de observación, cada una en un único momento del tiempo. Con los datos de panel se observan las mismas unidades en diferentes momentos. La gran mayoría de los trabajos empíricos publicados recientemente en este ámbito utilizan datos de panel, y la regla empírica general aplicada en la literatura existente es que los datos de panel son más adecuados para una estimación fiable.

3. **Agregación de los datos:** como ya se ha indicado, los modelos de productividad total de los factores y de productividad de la mano de obra pueden estimarse a diversos niveles de agregación. Los primeros estudios de la aglomeración utilizaban, en general, funciones de producción agregada o modelos salariales por zonas espaciales, y la aglomeración se medía por el tamaño de la ciudad. Los estudios más recientes suelen basarse en microdatos de empresas y trabajadores individuales, normalmente en forma de panel, ya que se consideran más adecuados para estimar las elasticidades de la aglomeración. Esto se debe, en parte, a que ofrecen coherencia con la teoría económica subyacente, en el sentido de que se corresponden con el nivel en el que se modeliza el comportamiento de las empresas (maximización de beneficios o minimización de costes), y también a que permiten aplicar modelos econométricos más sofisticados.

Tanto si se usa el modelo de la productividad total de los factores como el modelo salarial, existen dificultades metodológicas fundamentales que es preciso superar para estimar las elasticidades de la aglomeración a fin de que se pueda obtener una estimación *causal* de las mejoras del transporte. En la bibliografía existente se hace referencia a ellas como fuentes de endogeneidad, las cuales, si no se tratan de manera adecuada en los modelos econométricos, pueden dar lugar a estimaciones sesgadas e incoherentes de la elasticidad de la aglomeración. Graham y Gibbons (2019) ofrecen un examen amplio de esta bibliografía. Muestran que pueden surgir diferencias sustanciales en la magnitud de las estimaciones debido a la diferencia de los enfoques metodológicos empleados para la estimación y, en particular, la manera en que los estudios han intentado —o no— corregir las fuentes de «endogeneidad». En general, el hecho de no dar una respuesta adecuada a los problemas que plantea la endogeneidad suele causar un sesgo de sobreestimación de la elasticidad.

7.5.3. Valores de elasticidad utilizados para evaluar los beneficios de la aglomeración en el Reino Unido

Graham *et al*. (2009) estimaron los valores oficiales de la elasticidad de la aglomeración utilizados para valorar los *wider economic benefits* de los sistemas de transporte en el Reino Unido. En la estimación se usó una amplia base de datos a nivel de empresas para cuatro sectores generales de la economía: manufactura, construcción, servicios al consumidor y servicios a las empresas. El análisis se basó en un modelo de función de producción con una función de control para tratar las posibles fuentes de endogeneidad y permitir la heterogeneidad no observada a nivel de empresas.

Tabla 7.1. Resumen de la elasticidad de la aglomeración en el Reino Unido

	SIC	*Elasticidad de la aglomeración (ρ)*	*alpha*	*N*
Manufactura	15-40	0.024	1.122	21,363
		(0.002)	(0.127)	
Construcción	45	0.034	1.562	12,044
		(0.003)	(0.159)	
Servicios al consumidor	50-64	0.024	1.818	17,968
		(0.003)	(0.190)	
Servicios empresariales	65-75	0.083	1.746	8,236
		(0.007)	(0.144)	
Economía (media ponderada)	15-75	0.044	1.659	

Notas: SIC – clasificación industrial estándar, elasticidad de la aglomeración – elasticidad de la productividad con densidad efectiva (*ED*) (□ como se define anteriormente), alfa – el parámetro de descomposición de distancia de la métrica *ED*, N – número de observaciones.

Los resultados empíricos fundamentales de este estudio se resumen en la tabla que figura a continuación. La medición de la densidad efectiva utilizada para este estudio es

$$ED_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{E_j}{d_{ij}^{\alpha}},$$

donde, además de las variables ya definidas, E es el empleo. El estudio estima la elasticidad de la productividad total de los factores con respecto a la densidad efectiva (es decir, la elasticidad de la aglomeración)

$$\rho = \frac{\partial \log \omega}{\partial \log ED}.$$

Obsérvese que se utiliza una especificación del «decaimiento de la distancia» de la densidad efectiva a través del exponente α, que permite que las externalidades de la aglomeración disminuyan con la distancia. Además de estimar la elasticidad de la aglomeración, Graham *et al.* (2009) también estiman el valor de $\hat{\alpha}$ utilizando mínimos cuadrados no lineales. La motivación para definir este parámetro es que, al evaluar los beneficios de la aglomeración de las inversiones en transporte, resulta útil comprender la escala espacial sobre la que se distribuyen estas externalidades.

Los resultados de Graham *et al.* (2009) arrojan una elasticidad general de la aglomeración de 0,04 en todos los sectores de la economía. Para la industria manufacturera y los servicios al consumidor la elasticidad estimada es 0,02, para la construcción es 0,03, y para los servicios a empresas es 0,08. El parámetro del decaimiento de la distancia es aproximadamente 1,0 para la industria manufacturera, pero en torno a 1,8 para los sectores de servicios al consumidor y a las empresas y 1,6

para la construcción. Esto implica que los efectos de la aglomeración disminuyen más rápidamente con la distancia respecto de la fuente en el caso de los sectores de servicios que en el de la industria manufacturera. Sin embargo, el efecto relativo de la aglomeración en la productividad es más importante en el caso de los servicios.

En la **Tabla 7.2** se muestra un resumen de las estimaciones de la elasticidad de la aglomeración procedentes de otros estudios recientes de los países europeos.

Tabla 7.2. Resumen de las recientes estimaciones de la elasticidad de la aglomeración de los países europeos

Estudio	País	Periodo	Datos	Agregación	Elasticidad media	Elasticidad mediana
Ahlfeldt *et al.* (2015)	Alemania	1936-2006	PD	Regions	0.062	0.066
Brulhart y Mathys (2008)	Europa	1980-2003	PD	regiones	0.080	0.055
Ciccone (2002)	Europa	1992	CS	regiones	0.047	0.045
Combes *et al*. (2010)	Francia	1988	PD	Trabajador	0.035	0.037
Combes *et al*. (2008)	Francia	1988	PD	Zona	0.052	0.035
Combes *et al.* (2012)	Francia	1994-2002	PD	Planta	0.090	0.070
Di Addario y Patacchini (2008)	Italia	1995-2002	PD	Trabajador	0.010	0.010
Holl (2012)	España	1991-2005	PD	Empresa	0.089	0.047
Marrocu (2013)	Europa	1996-2007	CS	regiones	0.036	0.041
Martin *et al.* (2011)	Francia	1996-2004	PD	Planta	0.011	0.010
Mion y Naticchioni (2005)	Italia	1995	PD	Trabajador	0.034	0.022

Los resultados de estos estudios apoyan la teoría de que las economías de aglomeración existen y que inducen una mayor productividad para las empresas y los trabajadores. Sin embargo, hay diferencias en la magnitud de las estimaciones. Los valores medios se sitúan entre 0,01 y 0,09. El promedio de las medias es 0,049, muy cercano al valor medio del Reino Unido.

Melo *et al*. (2009) investigan por qué se producen diferencias en las estimaciones al llevar a cabo un meta-análisis. Encuentran diferencias sustanciales en la magnitud de las estimaciones de la elasticidad entre los distintos países y sectores industriales, lo que sugiere que las respuestas a la aglomeración son específicas de cada contexto e industria. De hecho, las estimaciones suelen ser más altas para los servicios a empresas y productores, tales como servicios financieros, de seguros, inmobiliarios y profesionales. También encuentran que pueden surgir diferencias sustanciales debido a los enfoques metodológicos empleados para la estimación, y este hecho se hace evidente tanto entre los distintos estudios como dentro de cada uno. De particular importancia es la forma en que los estudios han intentado —o no— corregir las posibles

fuentes de «endogeneidad». De nuevo, el hecho de no dar una respuesta adecuada a los problemas que plantea la endogeneidad suele causar un sesgo de sobreestimación.

7.5.4. Cuantificación de los beneficios de la aglomeración derivados de los sistemas de transporte

El cálculo de los *wider economic benefits* utilizando las elasticidades de la aglomeración es relativamente sencillo. Para evaluar los beneficios de la aglomeración derivados de un proyecto de transporte, primero debemos usar un modelo de transporte (o un modelo de transporte conjuntamente con un modelo LUTI) a fin de calcular el nivel de aglomeración (estática o dinámica) que prevalecerá después de que se haya realizado alguna intervención en los mercados de transporte. Obsérvese que en estos cálculos la variación de la aglomeración se mide a partir de las densidades efectivas basadas en el precio generalizado, aunque las elasticidades de la aglomeración se estiman mediante las densidades efectivas basadas en la distancia. Este es el procedimiento recomendado por el Departamento de Transporte del Reino Unido, y se justifica por el hecho de que evita la doble contabilización de los beneficios derivados del alivio de la congestión. Representamos las densidades efectivas basadas en el precio generalizado mediante ED^{GC}.

A continuación, seleccionamos una estimación de la elasticidad de la productividad con respecto a la aglomeración (ρ) (para cada sector definido de la economía) y calculamos el valor económico de los efectos del sistema de transporte relacionados con los *wider economic benefits* de la aglomeración, del siguiente modo:

$$\Delta y\left(\Delta ED^{GC}\right) = y\left(ED_1^{GC}\right) - y\left(ED_0^{GC}\right) = \rho\left(\frac{ED_1^{GC}\text{-}ED_0^{GC}}{ED_0^{GC}}\right) y\left(ED_0^{GC}\right),$$

donde $y(ED_0^{GC})$ es una medición de la producción económica (es decir, el PIB) en el año base, ED_0^{GC} es la densidad efectiva en el año base y ED_1^{GC} es el valor predicho de la densidad efectiva después de que el sistema de transporte esté en marcha.

El trabajo aplicado a la evaluación del transporte indica que incluso los efectos relativamente pequeños en la productividad total de los factores a través de los efectos de la aglomeración pueden dar lugar a importantes beneficios agregados en el PIB. A menudo se ha observado que la inclusión de los efectos de la aglomeración en el ACB añade entre un 10 % y un 30 % a los beneficios convencionales para el usuario. La **Tabla 7.3** ofrece ejemplos de evaluación para diferentes proyectos de transporte, y muestra el porcentaje de los beneficios totales debidos a la aglomeración.

Tabla 7.3. Evaluación de los beneficios de la aglomeración en diversos regímenes

Modo	*Proyecto*	*% beneficios aglomeración*
Ferrocarril	CrossRail	19 %
Ferrocarril	High Speed 2	18 %
Ferrocarril	CrossRail 2	29 %
Metro	Grand Paris Express	21 %
Carretera	Multiple (UK RIS)	15 %
Aéreo	Heathrow 3rd Runway	15 %
Multimodal	170 UK Proyectos (Eddington, 2006)	≈20 %

Notas: 1) % beneficios de aglomeración: es la parte de los beneficios totales del proyecto contabilizados por beneficios de aglomeración-, 2) la tabla se compila a partir de diversos estudios publicados 3) Eddington (2006) se refiere al Informe Eddington que presenta datos del ACB para 170 proyectos del Reino Unido.

En relación con estos resultados, cabe señalar que se encuentran beneficios de la aglomeración en muy diferentes tipos de proyectos. Los efectos de la aglomeración en la productividad son inducidos no solo por proyectos urbanos como ocurre en los proyectos de *CrossRail*, *CrossRail 2* y *Grand Paris Express*, sino también por trenes de alta velocidad. La evaluación de la línea HS2 en el Reino Unido ha encontrado, de hecho, pequeños efectos de aglomeración en largas distancias, en gran parte porque la limitada capacidad de la línea sencillamente no inducía una variación suficiente de las *EDs*. En cambio, los beneficios de la aglomeración debidos a la inversión en la línea HS2 (el 18 % en el cuadro) se basó en los aumentos de la densidad efectiva debidos a la liberación de capacidad de la línea secundaria local como resultado de la construcción de la línea de alta velocidad.

El informe Eddington (Eddington, 2006) analizó 170 proyectos de transporte en el Reino Unido en diferentes modos y con distintos tamaños de inversión. Eddington concluyó que, en promedio, los *wider economic benefits* de la aglomeración representaban en torno al 20 % de total de los beneficios evaluados. No encontró datos que respaldaran con solidez las diferencias específicas de cada modo en los efectos de la aglomeración, y también afirmó que el tamaño de la inversión era en gran medida irrelevante para la relación coste-beneficio resultante: proyectos de tamaño pequeño y medio pueden ofrecer una relación calidad-precio tan buena como los grandes. Asimismo, Eddington mostró que la inclusión de los *wider economic benefits* en el ACB puede ayudar a definir «prioridades estratégicas» para la inversión. En el caso del Reino Unido, se consideró que dichas prioridades eran las redes urbanas, los nodos internacionales (puertos y aeropuertos) y los corredores interurbanos.

En relación con esta última prioridad es legítimo preguntarse si los efectos de la aglomeración se pueden transmitir en largas distancias de la misma manera que se transmiten en distancias más cortas. Por ejemplo, ¿puede una inversión en ferrocarril de alta velocidad generar efectos de aglomeración entre ciudades (y no dentro de ellas)?

Como se ha mostrado antes, los trabajos empíricos existentes ofrecen datos que respaldan la existencia de economías de aglomeración, pero también indican en general que el alcance geográfico de tales externalidades está relativamente localizado. Sin embargo, en realidad no hay características evidentes en las fuentes o en los mecanismos de aglomeración examinados en la literatura que limiten su generación a las largas distancias. Así pues, la mayoría de los argumentos que vinculan el transporte con la aglomeración podrían ser válidos en el caso de las largas distancias, en el sentido de que, si las interacciones espaciales entre los agentes económicos se hacen más eficientes, cabe prever rendimientos crecientes.

8. INFERENCIA CAUSAL PARA LA EVALUACIÓN EX POST DE LAS INTERVENCIONES EN EL TRANSPORTE

8.1. Introducción

La evaluación *ex post* de un proyecto de transporte tiene por finalidad cuantificar los efectos que la intervención en un mercado de transporte ha tenido en comparación con los objetivos inicialmente planteados. Tales evaluaciones pueden efectuarse en relación con casi cualquier tipo de «intervención», incluidos los proyectos físicos, como la construcción de un nuevo enlace o infraestructura, o intervenciones de política como la imposición de límites de velocidad o cambios en los precios del transporte.

A diferencia de la evaluación *ex ante*, la evaluación *ex post* se lleva a cabo a posteriori, por lo que se sustenta en cambios reales y no en cambios previstos, y, como base para los cálculos, se basa en variables observadas y no teóricas.

Para la evaluación *ex post* se suelen adoptar principalmente tres métodos:

1. **ACB *ex post*:** los cálculos del ACB se efectúan en algún momento después de que haya concluido el proyecto. A diferencia del ACB *ex ante*, se puede disponer de valores observados y no predichos para cuantificar las principales variaciones inducidas por la intervención. El ACB *ex post* puede proporcionar información útil sobre los efectos del proyecto en sí mismo y sobre la forma en que el ACB *ex ante* pudo predecir los beneficios y los costes del proyecto.

2. **Estudio/observación de casos:** se pueden usar los datos disponibles y, al mismo tiempo, reunir datos primarios a través de encuestas o entrevistas para construir un estudio de casos relativo a los efectos. Este método es, por lo general, de carácter más cualitativo, y su objetivo normalmente no es lograr una cuantificación precisa de los efectos, sino más bien proporcionar algunas indicaciones generales de las variaciones que se han producido tras una intervención.

3. **Inferencia causal:** los modelos estadísticos se aplican a los datos observados antes y después de que se hayan llevado a cabo las intervenciones en el transporte, a fin de estimar los efectos que estuvieron causados por la intervención. El objetivo primordial de este método es identificar los efectos «causales» y no los «asociativos». Las técnicas estadísticas empleadas se basan en métodos empíricos y en la teoría económica y establecen supuestos y propiedades que deben cumplirse para generar una inferencia causal válida sobre los efectos.

En la presente sección examinamos los métodos cuantitativos para la evaluación *ex post* basados en la modelización estadística causal.

8.2. Inferencia causal y evaluación ex post: terminología y conceptos clave

Este énfasis en la causalidad surge de la convicción de que la política de transporte se ocupa fundamentalmente de las relaciones causa-efecto. Normalmente, el objetivo subyacente de la intervención es intentar alcanzar unos resultados futuros mediante la acción pública. Para los responsables de tomar decisiones la pregunta que interesa es: ¿qué efectos, o resultados, tendrán las intervenciones propuestas?

La evaluación *ex post* se propone responder a esta pregunta. Aplicando modelos estadísticos a los datos históricos, trata de reflejar las relaciones de interés fundamentales y evaluar el efecto neto de las intervenciones anteriores en los resultados definidos. Para ello, es imprescindible que obtengamos una interpretación causal a partir de los datos observados. Dicho de otro modo, debemos descubrir el efecto *real* de la intervención en el transporte, y no los efectos asociados a otros acontecimientos correlacionados o ajenos.

En la presente sección definimos algunos conceptos y terminología clave que son fundamentales para examinar los métodos causales de evaluación *ex post* que se presentan a continuación.

8.2.1. Terminología y conceptos clave de la inferencia causal

En la evaluación *ex post* se pretende cuantificar el efecto que una intervención (o *tratamiento*) en el transporte tiene en los *resultados* de interés. Para ello, se utilizan datos sobre una muestra de observaciones, en que las *observaciones* o *unidades* podrían ser enlaces de transporte, ubicaciones geográficas, zonas espaciales, hogares, personas, empresas u otras entidades definidas que consideramos que se ven afectadas por la intervención. Al llevar a cabo nuestra evaluación *ex post*, reconocemos que las unidades de observación tienen *características* que son pertinentes para los resultados que observamos, y medimos estas características como *covariables*. Por tanto, en un escenario *ex post* típico, observamos tres tipos de datos que describen los resultados, las intervenciones y las características de las unidades (o covariables). A continuación, ofrecemos información adicional sobre estos conceptos clave y definimos la terminología asociada.

En primer lugar, está el concepto de *intervención* y la noción relacionada de «tratamiento». Una *intervención en el transporte* se refiere a cualquier cambio planificado que se lleva a cabo en el sistema de transporte. Las intervenciones podrían implicar proyectos físicos como la construcción de un nuevo enlace o infraestructura, ampliaciones de las redes existentes y aumentos de capacidad; o podría consistir en políticas no físicas, como la aprobación de normativas o la modificación de los precios. En los estudios sobre la inferencia causal, las intervenciones a menudo se denominan «tratamientos». El tratamiento es un término genérico que designa una variable aleatoria

que proporciona alguna medición de la intervención. Las variables de tratamiento podrían ser binarias, multivalor o continuas. La tabla que se presenta a continuación ofrece ejemplos de intervenciones en el transporte clasificadas como variables de tratamiento.

Tabla 8.1. Intervenciones de transporte clasificadas como variables de tratamiento

Tratamiento binario	Tratamiento multivalor	Tratamiento continuo
Peaje / sin peaje	Frecuencia de servicio	Capacidad de la red
Cámara de control de velocidad	Límite de velocidad	Longitud de la ruta
Zona con límite de velocidad 20mph	Número de vagones por tren	Densidad de intersecciones
Hora punta / hora normal	Número de trayectos origen-destino	Accesibilidad
Peatonalizar / no peatonalizar	Número de nodos de una red	Tasa de impuestos / subsidios

Un segundo concepto clave relacionado con la intervención es el de *asignación del tratamiento* y *mecanismo de asignación*. La asignación se refiere a la manera en que se asigna un tratamiento. En nuestra muestra de unidades, algunas unidades se verán afectadas por la intervención y otras no. Nos referimos a las primeras como unidades tratadas y a las segundas como unidades de control. Si un mecanismo de asignación es aleatorio, la probabilidad de que se asigne al tratamiento es uniforme en todas las unidades. Es decir, aunque observemos unidades tratadas y unidades de control en los datos tras la asignación del tratamiento, la probabilidad de que cualquier unidad estuviera en cualquiera de los grupos antes de que se asignara el tratamiento era uniforme en toda la muestra. Por otro lado, si un mecanismo de asignación no es aleatorio, entonces la probabilidad de que sea asignada al tratamiento varía entre las unidades de la muestra. Las intervenciones en el transporte se asignan casi siempre de forma no aleatoria, a ubicaciones o enlaces concretos por razones definidas de antemano. Este simple hecho es fundamental para intentar definir los efectos de las intervenciones *ex post*.

El tercer concepto clave que debe aclararse en esta sección es el *resultado* (o *resultados*) de interés. En la evaluación *ex post* los resultados se refieren a las variables dependientes que son objeto de la evaluación *ex post*. Por ejemplo, podríamos querer evaluar los efectos de una intervención en el transporte en los siguientes resultados: tiempos de viaje, velocidades de viaje, nivel de congestión, calidad del aire o productividad económica. El objetivo de la evaluación *ex post* es estimar los efectos de los tratamientos en los resultados.

El último concepto que hay que definir en esta sección es el de factor de *confusión (confounding)*. Como ya se ha mencionado, los datos observados para la evaluación *ex post* suelen medir las características de las unidades incluidas en la muestra. Entre ellas podrían incluirse características de referencia (es decir, anteriores a la intervención), como las velocidades del tráfico, los flujos del tráfico, los tiempos de

viaje, la productividad económica, los patrones en el uso del suelo, etc. Algunas de estas características pueden llevar a confusión, y, si esto ocurre, deben resolverse sistemáticamente para llevar a cabo la evaluación *ex post*. Un factor de confusión es una variable aleatoria que influye en un resultado de interés, pero que también es importante para determinar la asignación (posiblemente no aleatoria) al tratamiento. Los factores de confusión son importantes para la evaluación *ex post* porque, si no se resuelven de forma adecuada en el modelo estadístico empleado, pueden generar dificultades graves para obtener una inferencia causal válida acerca del efecto de los tratamientos.

8.3. Marco de resultados potenciales para la evaluación causal ex post

Utilizando los conceptos antes definidos, podemos pasar a describir un marco general de modelización para la evaluación *ex post* de las intervenciones en el transporte. El objetivo de este marco y los métodos correspondientes es cuantificar los efectos que se han producido debido a la intervención explícita (o «tratamiento»), tras descontar las posibles influencias de la «confusión». Las intervenciones en el transporte se caracterizan por una asignación no aleatoria, y a este respecto mostramos que los métodos causales basados en los resultados potenciales se pueden adaptar fácilmente para la evaluación *ex post*.

La configuración típica para los estudios *ex post* es aquella en la que los datos disponibles para la estimación son realizaciones de un vector aleatorio, $Z_i = (Y_i, D_i, X_i)$, donde, para nuestras n unidades de observación, $i=(1,\ldots,n)$, Y_i representa una respuesta (o resultado) de interés, D_i es el tratamiento (o exposición) recibido (es decir, alguna intervención en el transporte), y X_i es un vector de características de la unidad que son posibles factores de confusión. A lo largo del presente capítulo analizaremos modelos y especificaciones de los modelos en relación con estos tres elementos clave de los modelos causales: Y, D y X.

Las variables de tratamiento pueden ser binarias, multivalor o continuas. Como ya se ha señalado, hay muchas maneras diferentes en las que las intervenciones en el transporte se podrían usar para definir una variable de tratamiento. Podríamos especificar una variable de tratamiento binaria, en la que algunas unidades en la muestra se clasifiquen como afectadas por el tratamiento (es decir, «tratadas») y otras como no afectadas (es decir, «de control»). O podríamos tratar de medir hasta qué punto las unidades de la muestra se han visto afectadas por el tratamiento y, de este modo, crear una variable que distinga las unidades por «dosis» (es decir, por algún indicador de la magnitud de la intervención).

Sea cual sea la variable de tratamiento que elaboremos, debería proporcionar la base que nos permita definir un conjunto de *resultados potenciales* para cada unidad de la muestra. Así, para la unidad i y el tratamiento binario $D \in \{0, 1\}$ podemos establecer dos resultados potenciales que definen el estado de tratamiento y de control: $Y_i(0)$ si

$D_i = 0$, e $Y_i(1)$ si $D_i = 1$. Para el tratamiento multivalor o continuo podemos definir un resultado potencial $Y_i(d)$ asociado con cada dosis de tratamiento d, donde $Y_i = \{Y_i(d): d \in D\}$ representa todo el conjunto de resultados potenciales.

En definitiva, el objetivo de nuestro análisis es estimar el efecto de los tratamientos en los resultados. Sin embargo, un problema fundamental para la inferencia causal es que los datos disponibles para la estimación revelan solo los resultados reales, no todo el conjunto de resultados potenciales (que nunca se producen a la vez). La idea clave del marco de resultados potenciales para la inferencia causal es que no tenemos que observar todos los resultados potenciales para determinar los efectos causales de un tratamiento. En determinadas condiciones, los resultados reales son suficientes, incluso en el contexto de asignaciones de tratamiento no aleatorias. Ahora mostramos la lógica en la que se sustenta la determinación de los efectos causales en este marco para la inferencia.

Una vez que tenemos una variable de tratamiento definida, los estimandos clave de interés, o cantidades que deseamos evaluar *ex post*, son los resultados potenciales medios (RPM) y los efectos medios del tratamiento (EMT). Un RPM mide el resultado medio que se produciría si todas las unidades de la muestra se asignaran a algún estado de tratamiento definido. El EMT es la diferencia entre un RPM para un estado de tratamiento particular de interés y el RPM en un escenario de referencia (a menudo tomado como «no tratado» o en estado de control). Para los tratamientos binarios, los RPM pertinentes son

$$\mu(1) = \mathrm{E}[Y_i(1)] \text{ y } \mu(0) = \mathrm{E}[Y_i(0)],$$

donde $Y_i(1)$ es el resultado para la unidad i en tratamiento e $Y_i(0)$ es el resultado para la unidad i en estado de control. El EMT binario se define como

$$\tau(1) = \mu(1) - \mu(0).$$

Para los tratamientos continuos y multivalor, el RPM que se encuentra en algún nivel de tratamiento d se representa como

$$\mu(d) = \mathrm{E}[Y_i(d)],$$

y el EMT adopta la forma

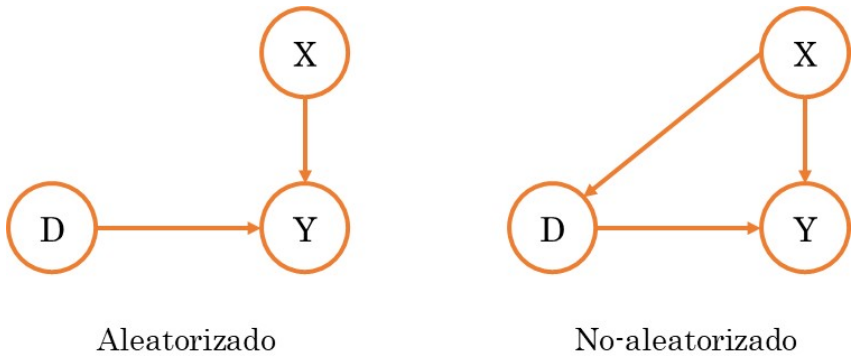
$$\tau(d) = \mathrm{E}[Y_i(d)] - \mathrm{E}[Y_i(0)],$$

para cualquier dosis de interés d.

Dado que no se observa el conjunto completo de resultados potenciales para las unidades de la muestra, una posibilidad para estimar los RPM y los EMT sería simplemente tomar los resultados medios para los grupos de las unidades definidas por

un estado de tratamiento y comparar (es decir, en el caso binario, podríamos comparar el resultado medio para las unidades tratadas con un resultado medio para las unidades no tratadas). Sin embargo, a falta de condiciones experimentales, no podemos suponer que el tratamiento se asigna de forma aleatoria, y, por consiguiente, las simples comparaciones de las respuestas medias entre diferentes grupos de tratamiento no revelarán, en general, un efecto «causal», debido a las posibilidades de confusión. La siguiente figura ilustra las implicaciones de la asignación no aleatoria.

Figura 8.1: Grafo Dirigido Acíclico de asignación de tratamiento aleatoria y no aleatoria



Obsérvese que, en caso de asignación aleatoria, las características de las unidades de la muestra, representadas mediante *X*, no influyen en el tratamiento recibido (es decir, en *D*). Por consiguiente, los resultados son incondicionalmente independientes del mecanismo de asignación del tratamiento (es decir, todas las unidades de la muestra tienen la misma probabilidad de que se asignen a un tratamiento). En caso de asignación aleatoria, una simple comparación de los resultados medios en función de los grupos de tratamiento dará lugar a una inferencia válida sobre el EMT para la población. En condiciones de asignación no aleatoria, la asignación del tratamiento depende de las características *X*, que son importantes para determinar el resultado *Y*. Esto significa que las unidades difieren sistemáticamente en función del estado de tratamiento en sus características básicas, por lo que una parte de la *asociación* entre el tratamiento y el resultado podría atribuirse a *X* y no a *D*.

Las intervenciones en el transporte suelen asignarse de forma no aleatoria. Por ejemplo, pueden ser asignadas para inducir mejoras en las ubicaciones congestionadas, en las ubicaciones con limitaciones de accesibilidad, o en las ubicaciones con un rendimiento económico deficiente. Si es así, las características de las ubicaciones a las que se han asignado las intervenciones en el transporte presentan algunas diferencias sistemáticas con respecto a las características generales de las ubicaciones que no recibieron una intervención.

En caso de asignación no aleatoria, representamos mediante X los factores de confusión y obsérvese que la aproximación a $\tau(1)$ o a $\tau(d)$ utilizando los promedios de la muestra por estado de tratamiento tal vez no revele un efecto «causal», porque las medias pueden ser diferentes con independencia del estado de tratamiento debido al efecto de confusión de X en la asignación del tratamiento. La cuestión fundamental para que la inferencia causal tenga éxito es identificar y ajustar los factores de confusión.

En términos generales, hay dos maneras de hacer esto. En primer lugar, mediante el ajuste de la confusión basado en el modelo, en el que las diferencias entre las unidades de las características X se miden y se incluyen en un modelo para obtener los efectos causales marginales (es decir, el EMT tras deducir las influencias de la confusión derivadas de X). En segundo lugar, elaborando modelos que aprovechen las fuentes de varianza exógena para obtener estimaciones causales sin representación explícita de X en el modelo. En las siguientes secciones describimos tres de los modelos estadísticos usados con más frecuencia para la evaluación *ex post*.

8.4. Modelos estadísticos causales para la evaluación ex post

En la sección anterior hicimos una breve presentación del marco de resultados potenciales para la inferencia causal. En esta sección examinamos tres métodos específicos que se pueden usar para la evaluación *ex post*.

8.4.1. Regresión de resultados

Los modelos de regresión de resultados (RR) son quizá el método más usado para evaluar los efectos de las intervenciones en el transporte en la literatura académica existente. La idea es desarrollar un modelo de regresión que relacione el resultado de interés (es decir, alguna medición definida para la evaluación *ex post*) con el tratamiento de interés, ajustando al mismo tiempo la confusión mediante un conjunto de covariables medidas. Por ejemplo, en el contexto de la regresión lineal, un modelo RR puede definirse como

$$y = T\tau + X\beta + \epsilon,$$

donde y es el resultado de interés, T es el tratamiento, X es un vector de covariables y ϵ es un término de error que se supone cumple unas determinadas propiedades. El parámetro τ se utiliza para estimar el efecto del tratamiento en el resultado.

El método RR puede fallar cuando los datos disponibles no permiten que la confusión se resuelva adecuadamente. En la En la literatura empírica reciente, una solución habitual que se aplica en estas situaciones es la estimación de variables instrumentales (VI). El estimador de VI es bien conocido y ampliamente utilizado. Los principios fundamentales de la estimación de VI son:

1. Encontrar un conjunto de instrumentos que sean exógenos al resultado, pero estén altamente correlacionados con el tratamiento.

2. Utilizar los instrumentos para reforzar la ortogonalidad entre el término de error y una matriz de diseño transformada por el instrumento.

8.4.2. Modelos de puntuación de propensión

El siguiente método estadístico que se va a examinar es la modelización de puntuación de propensión (PP). La característica principal de los estimadores basados en la PP es que tratan de estimar los efectos de los tratamientos en los resultados mediante la modelización explícita del propio mecanismo de asignación del tratamiento. Esto se hace en dos etapas:

1. **Estimación de las puntuaciones de propensión (PP):** las PP se calculan para reflejar las relaciones entre la asignación del tratamiento y los efectos de la confusión. Para un tratamiento definido —que puede ser binario, multivalor o continuo—, se especifica un modelo de PP que mide la probabilidad de ser asignado a un determinado nivel del tratamiento dadas las características de confusión del contexto. Para la unidad *i* representamos la PP mediante

$$\pi_i = P(T \mid X_i, \alpha).$$

2. **Modelo de resultados:** las PP estimadas se utilizan después para ajustar la confusión en un modelo que relaciona los resultados con los tratamientos.

Para ofrecer una perspectiva intuitiva sobre el principio en el que se basan los modelos de PP, consideremos el siguiente escenario en el contexto del tratamiento binario. Supongamos que se ha asignado de forma aleatoria un tratamiento de tal manera que todas las unidades que pueden recibir el tratamiento tienen la misma probabilidad de hacerlo, es decir,

$$\pi_i = P(T|X_i) = P(T)\ .\ \ \forall\ i$$

En ese caso, no hay confusión y, por tanto, no hay ninguna diferencia sistemática entre las características de las unidades que son tratadas o no tratadas, porque *X* no establece diferencias en la probabilidad de ser asignado al tratamiento. En consecuencia, si tomamos el resultado de interés medio para los grupos tratados y le restamos el resultado medio correspondiente a las unidades no tratadas, obtendremos una estimación no sesgada del efecto del tratamiento:

$$\tau = E[Y_i(1)] - E[Y_i(0)].$$

Si el tratamiento se asigna de forma no aleatoria, y depende de las características de la unidad *X*, entonces la probabilidad de recibir el tratamiento no es constante en toda la

muestra. Por consiguiente, las simples comparaciones de las medias en función del estado de tratamiento no revelarán en general un efecto «causal», debido a las influencias de la confusión.

La PP trata de cuantificar la probabilidad condicional de ser asignado a algún nivel del tratamiento teniendo en cuenta las características de confusión. Dicho de otro modo, intenta cuantificar π_t para todas las unidades de la muestra, y estos valores no serán uniformes si hay confusión. Las PP se calculan estimando la relación entre T y X mediante un modelo de regresión

$$E[T_i|X_i] = \Psi^{-1}\{m(X_i,\alpha)\},$$

para la función de enlace conocida ψ, la función de regresión $m()$, y el vector de parámetros desconocidos α. Los parámetros estimados de este modelo se usan después para construir las puntuaciones de propensión

$$\hat{\pi}_i = P(T|X_i;\hat{\alpha}).$$

Una vez que hemos estimado las PP, podemos crear una *pseudomuestra* que simule la asignación aleatoria usando las probabilidades condicionales para imitar la representación de las unidades que tendría lugar en una asignación aleatoria. Por ejemplo, si observamos que la unidad A tiene el doble de probabilidades de ser tratada que la unidad B debido a sus características X, podemos simplemente duplicar la influencia de B en la muestra.

La PP se define para los tratamientos binarios, multivalor o continuos. Una vez que se ha estimado el modelo de PP, se puede usar para formar un número de estimadores no paramétricos y semiparamétricos diferentes. Una ventaja fundamental al usar la PP es que evita la necesidad de condicionar un vector de covariables con un número potencialmente muy alto de dimensiones (es decir, X) y es esta propiedad de reducir las dimensiones lo que permite aplicar eficazmente unos estimadores flexibles libres de distribución.

Pueden encontrarse ejemplos recientes de la aplicación de los modelos basados en la PP para la evaluación de intervenciones en el transporte en Graham *et al*. (2014) y Li *et al.* (2013). Graham *et al*. (2014) elaboran una metodología basada en la PP para evaluar los efectos de las expansiones de la capacidad de las carreteras urbanas (es decir, un tratamiento continuo) en las ciudades de los Estados Unidos. Estudian los efectos en los volúmenes del tráfico, las densidades del tráfico y las congestiones. Muestran que el método de la PP puede utilizase para derivar una gama de diferentes mediciones de los efectos, incluidas las curvas flexibles de «dosis-respuesta». Li *et al.* (2013) utilizan la correspondencia de la puntuación de propensión para evaluar el efecto de los radares de velocidad (es decir, un tratamiento binario) en los accidentes.

8.4.3. Diferencia en diferencias

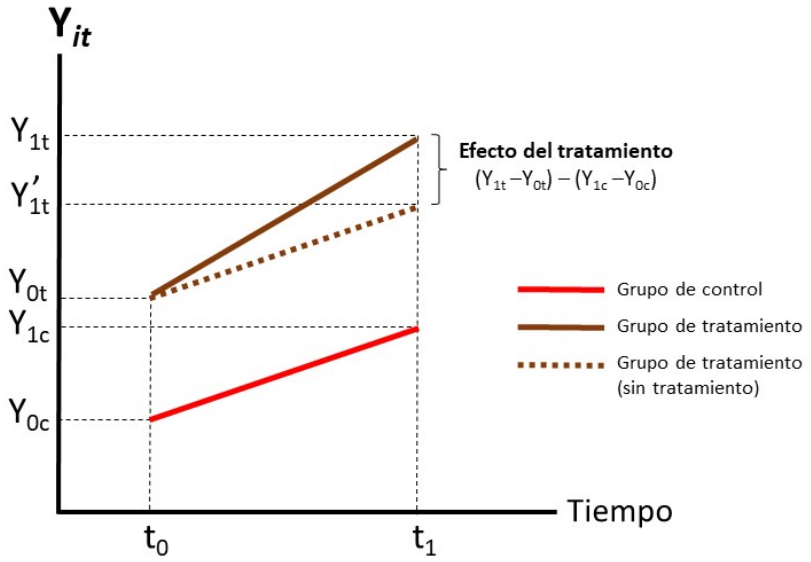
El método de diferencia en diferencias (DD) es un procedimiento para la estimación de los efectos del tratamiento «antes y después» que se puede aplicar cuando el efecto del tratamiento en las unidades puede representarse como una variable binaria (es decir, «tratado» o «no tratado»). Puede revelar efectos asociados con la exposición a una intervención en relación con la no exposición (control), pero no puede informar sobre los efectos por escala o «dosis» de la intervención.

Un problema a la hora de determinar los efectos de tratamiento mediante los modelos de regresión de resultados (RR) es que puede haber, entre las unidades tratadas y las no tratadas, diferencias no observadas que afectan a los resultados y también influyen en la asignación del tratamiento (es decir, factores de confusión no observados). Además, pueden existir tendencias temporales que afecten a la variable de resultados debido a sucesos que no estén relacionados con el tratamiento. El método de DD proporciona un estimador para los efectos del tratamiento binario que tratan esas posibles fuentes de sesgo utilizando información para los grupos tanto tratados como de control en los períodos anteriores y posteriores al tratamiento.

El método de DD funciona del siguiente modo. Se recopilan observaciones para dos grupos y dos períodos. Uno de los grupos es el grupo de tratamiento, que está expuesto al tratamiento en un período. El otro grupo es el grupo de control, que no recibe ninguna exposición al tratamiento durante ambos períodos. Después, la variación media a lo largo del tiempo del grupo no expuesto (de control) se resta de la variación media a lo largo del tiempo en el grupo expuesto (tratado) para estimar el efecto del tratamiento. Esta doble diferenciación, el denominado método de «diferencia en diferencia», elimina los sesgos de la comparación del segundo período entre los grupos de tratamiento y de control que podrían ser resultado de diferencias permanentes entre esos grupos, así como los sesgos derivados de la comparación a lo largo del tiempo en el grupo de tratamiento que podrían ser resultado de tendencias temporales no relacionadas con el tratamiento.

El método de DD se ilustra gráficamente a continuación:

Figura 8.2: Ilustración del enfoque "diferencias en diferencias"



En este diagrama Y_{0c} se refiere al resultado medio anterior al tratamiento para el grupo de control, Y_{1c} se refiere al resultado medio posterior al tratamiento para el grupo de control, Y_{0t} se refiere al resultado medio anterior al tratamiento para el grupo de tratamiento, e Y_{1t} se refiere al resultado medio posterior al tratamiento para el grupo de tratamiento.

El método DD estima el efecto del tratamiento del siguiente modo:

$$\tau = (Y_{1t} - Y_{0t}) - (Y_{1c} - Y_{0c}).$$

Esto se puede lograr mediante una regresión lineal. Por ejemplo, podemos estimar el modelo

$$Y_{i,t} = \mu + X_i'\beta + \alpha T_{i,t} + \delta * t + \tau T_{i,1} + \varepsilon_{i,t},$$

para las unidades de observación i, $i = (1, \ldots, N)$ en períodos de tiempo binarios $t \in \{0,1\}$, donde $t = 0$ representa el período anterior al tratamiento y $t = 1$ representa el período posterior al tratamiento. En este modelo $T_{i,t}$ es la variable de indicadores del tratamiento, de tal forma que $T_{i,t} = 1$ si la unidad i ha estado expuesta al tratamiento antes del período t y $T_{i,t} = 0$ en caso contrario, δ es un componente temporal específico, y $\varepsilon_{i,t}$ es un error potencialmente autorregresivo con media cero en cada período. El efecto del tratamiento se refleja mediante el parámetro τ.

Para estimar el efecto del tratamiento, el método de DD se basa en el supuesto de identificación de que tanto los grupos tratados como los grupos de control habrían seguido trayectorias paralelas a lo largo del tiempo. Esto se refleja en la línea discontinua de la **Figura 8.2**, que ilustra el modo en que el modelo de DD predice el resultado medio para las unidades tratadas que se habría producido si no hubieran recibido el tratamiento. Para lograrlo, utiliza información procedente del grupo de control y supone que los grupos tratados y de control tienen una tendencia paralela. Sumar las covariables a la regresión de DD lineal (es decir, X) puede ayudar a que se cumpla la hipótesis de la tendencia paralela porque después se supone que se mantiene condicionada a esas covariables, dando así cabida a la heterogeneidad en la dinámica de resultados entre los dos grupos.

El modelo DD proporciona un método viable y popular para estimar el efecto del tratamiento binario que se ha usado anteriormente para evaluar los efectos *ex post* de las intervenciones en el transporte. Aunque solo es aplicable a los tratamientos binarios, suele necesitar menos datos que los modelos de RR y de PP, aunque exige que se disponga de datos anteriores y posteriores al tratamiento tanto para el grupo tratado como para el grupo controlado y también es deseable que haya covariables para ayudar a reforzar la credibilidad de la hipótesis de tendencia paralela.

Se puede encontrar un ejemplo reciente de la aplicación de los modelos DD para la evaluación *ex post* en Carbo *et al*. (2019), que estudian los efectos de la implantación del ferrocarril de alta velocidad entre Madrid y Barcelona. Utilizando el método DD, encontraron que las provincias que tenían estación de alta velocidad han experimentado un aumento del 2,4 % en su resultado económico, el 3,3 % en el número de empresas y el 1,1 % en la productividad. Sin embargo, aunque encontraron datos sobre el crecimiento de la actividad económica en las provincias en los que paraba el tren de alta velocidad, debido a la falta de datos, no pudieron distinguir si esas ganancias representaban un crecimiento neto para el conjunto de la economía española o un desplazamiento desde otras provincias de control.

9. GOBERNANZA Y DISEÑO INSTITUCIONAL[44]

9.1. La provisión de infraestructuras de transporte

El papel del sector público en la provisión de infraestructuras y regulación de los servicios de transporte es de sobra conocida. En los últimos decenios, tanto la liberalización de los mercados de transporte como la privatización de empresas públicas ha aumentado sustancialmente el papel de los mercados y la participación privada en el funcionamiento de la actividad económica. Por consiguiente, el sector público ha disminuido en tamaño, pero no en importancia.

El transporte desempeña un papel fundamental en el crecimiento económico y el desarrollo sostenible, ya que permite a las personas acceder a los servicios de salud y educación, aumenta las oportunidades de empleo, mejora el intercambio de información y, en general, garantiza la cohesión social. El sector del transporte también contribuye a reducir los costes de los bienes y servicios y a aumentar la productividad mediante las economías de escala y aglomeración. Las infraestructuras de transporte se caracterizan por un alto coste de inversión, con una elevada proporción de costes hundidos, incertidumbre en la demanda e irreversibilidad, pero todo esto no justifica por sí solo la provisión de infraestructuras de transporte por parte del sector público.

Hay otras razones, tales como el tamaño y diferente configuración de las redes de transporte que resultarían bajo una perspectiva pública o privada, el diseño de contratos, la regulación de monopolios en infraestructuras como la de los ferrocarriles o los puertos, o el acceso de operadores privados a infraestructuras en monopolio, que, con el fin de armonizar los intereses de los diferentes agentes económicos, justificarían la intervención del sector público.

La provisión de infraestructuras de transporte abarca diferentes etapas, como la planificación, la evaluación, las decisiones sobre el modo en que el sector privado debe participar en la construcción, el mantenimiento y/o la operación de los servicios de transporte, y la regulación en sentido amplio (lo cual incluye desde la regulación de los precios y la calidad hasta la ejecución de los contratos).

El sector público debe encargarse de planificar las infraestructuras de transporte por diferentes razones como, por ejemplo, diseñar la red, evitar duplicidades o garantizar la construcción de tramos que son necesarios desde el punto de vista social pero no resultan rentables desde el punto de vista privado. Sin embargo, esto no implica que

[44] Esta sección se basa en De Rus y Socorro (2010), Engel *et al*., 2014, De Rus (2015), y De Rus y Socorro (2017).

tenga que ser el sector público el que se encargue directamente de la construcción, el mantenimiento y/o la operación de dichas infraestructuras de transporte.

Existen principalmente tres enfoques respecto a la forma en la que el sector público debe llevar a cabo la provisión de infraestructuras de transporte: la provisión pública, la participación público-privada o la privatización. En el caso de la provisión pública, una empresa privada construye la infraestructura a cambio de un pago negociado y, una vez que esta se ha construido y pagado, concluye el acuerdo contractual con el gobierno. A partir de ese momento, el sector público se encarga de mantener y operar directamente la infraestructura. También es posible que el mantenimiento y la operación de la infraestructura se realice por parte del sector privado, pero mediante un contrato diferente, en el que el sector privado recibe un pago por las tareas incluidas en el contrato sin asumir ningún riesgo o relación con la fase de construcción. En cambio, en un sistema de participación público-privada, la misma empresa privada que construye la infraestructura de transporte también se encarga de su operación y mantenimiento durante un período determinado. Por tanto, la empresa privada participa en todo el proceso, con sus ventajas e inconvenientes en lo referente a los costes: una adecuada planificación durante la construcción puede reducir los costes de mantenimiento, etc. La privatización se diferencia de la participación público-privada en que en el primer caso la infraestructura de transporte se transfiere de forma permanente a la empresa privada.

En la provisión de infraestructuras públicas, el gobierno debe decidir el tipo, el lugar y el calendario de los proyectos, y diseñar los contratos que se van a ofrecer al sector privado tanto para la construcción de la infraestructura de transporte, como para el mantenimiento y operación (en su caso) durante la vida de las mismas. Existe una ingente cantidad de casos en la literatura que demuestra las limitaciones del gobierno a la hora de resolver estos problemas (Engel *et al*., 2014). La evidencia empírica muestra que la intervención pública en el sistema de transporte dista mucho de ser óptima. El despilfarro en inversiones, la tarificación ineficiente, la regulación deficiente y el mal diseño de la participación privada en las fases de construcción y operación de las infraestructuras han sido rasgos comunes en muchos países del mundo. El diseño institucional común del ministerio de transporte en muchos países, con una separación en diferentes direcciones generales por modo de transporte, contribuye a explicar por qué las redes de transporte se desarrollan actualmente como lo hacen. El tipo de gobernanza actual hace que sea perfectamente posible expandir de forma simultánea y subóptima las redes de ferrocarril de alta velocidad, de carreteras y de aeropuertos incluso en el caso de proyectos mutuamente excluyentes para resolver el mismo problema de movilidad.

La evaluación de los proyectos de transporte y la regulación de la participación privada y los precios debería llevarse a cabo a través de agencias independientes. La estructura institucional que necesitan las sociedades modernas exige reguladores independientes.

Esta exigencia está ampliamente aceptada, pero también se necesita un organismo independiente que garantice la selección rigurosa de las inversiones. Así pues, la participación privada debe basarse en concursos públicos, y los contratos deben diseñarse de acuerdo con la teoría económica y las mejores prácticas internacionales. El objetivo es maximizar el bienestar social, para lo cual se debe reducir la injerencia política en la fase técnica de la evaluación de proyectos y garantizar que se seleccionen proyectos adecuados cuya ejecución se lleve a cabo por las empresas más eficientes.

Las agencias independientes deben operar con total autonomía e independencia con respecto a las empresas y al gobierno, o, de lo contrario, se convertirían en trámites burocráticos inútiles. Las agencias independientes están diseñadas para mantenerse al margen de las presiones políticas y, por lo general, están dirigidas por una comisión o una junta de miembros elegidos por sus competencias técnicas y reputación (y no por su ideología política). En este sentido, el gobierno debería tener una facultad limitada para elegir o destituir a un miembro de una agencia independiente. Las agencias independientes deben desempeñar sus cometidos de manera eficiente, transparente, flexible y dinámica a fin de mantener su credibilidad social. Dado que su origen no es democrático y que sus miembros no dependen de los votos de los ciudadanos, su actuación profesional debe, a su vez, someterse a la valoración de evaluadores independientes a fin de garantizar que han cumplido correctamente sus tareas y objetivos.

9.2. Planificación de las infraestructuras de transporte

La planificación de las infraestructuras de transporte debería llevarla a cabo el sector público a fin de garantizar la movilidad de los individuos en todo el país (incluso en aquellos tramos que no son rentables para los operadores de transporte privados). Para hacerlo de manera eficiente, el gobierno debería considerar toda la red y todas las posibles alternativas de transporte, evitando la duplicación de infraestructuras que resuelven los mismos problemas de movilidad o la inversión excesiva en capacidad. Un ejemplo claro de duplicidad de infraestructuras de transporte en España es la inversión en ferrocarril de alta velocidad y en aeropuertos. La inversión en tren de alta velocidad ha creado la red de alta velocidad más grande de Europa, que, en la mayoría de los casos, se superpone a la red ya existente de aeropuertos para resolver el mismo problema de movilidad de media distancia. Sin embargo, ¿por qué es posible que los gobiernos inviertan en infraestructuras de transporte que no son óptimas desde el punto de vista social?

Hay varias razones que explican por qué los gobiernos pueden desviarse de un comportamiento que maximice el bienestar social. La primera razón es que el gobierno puede estar interesado en maximizar la probabilidad de reelección (Downs, 1957; Niskanen, 1971; Sobel, 1998; y Robinson y Torvik, 2005). En el caso de la inversión en

transporte, el típico proyecto «… toma un poco de un grupo grande (por ejemplo, el conjunto de los contribuyentes), que beneficia enormemente a un grupo pequeño (por ejemplo, un subconjunto concreto de viajeros). Dado que cualquier inversión individual es políticamente racional de esta manera, el exceso de inversión es el resultado esperado» (Mackie *et al.*, 2014). La segunda razón hace referencia a la teoría de la captura (Stigler, 1971) y/o la presión de los grupos de interés para orientar las políticas del gobierno a su favor (Becker, 1983). En algunos casos, se podría añadir una tercera razón, referente a la ausencia de principios económicos en los organismos públicos en materia de infraestructura de transporte. En muchos países, el diseño institucional de los órganos ministeriales con competencias en transporte ha favorecido el predominio de una visión de ingeniería en la planificación, sin tener en cuenta los conocimientos económicos actuales sobre la evaluación económica ni los problemas relacionados con los incentivos en el diseño y la regulación de los contratos en un contexto de información asimétrica y de diferentes agentes y objetivos (véase Engel *et al*., 2014).

Para que la planificación sea eficiente, debe considerar la red de transporte global y todas las alternativas posibles para resolver un determinado problema de movilidad. Por tanto, las decisiones de inversión en infraestructura de transporte no pueden tomarse en el seno de un Ministerio de Fomento[45] dividido en diferentes direcciones por modo de transporte que tomen decisiones de inversión de forma aislada y sin tener en cuenta los importantes efectos cruzados entre los diferentes modos. En cambio, debe ser una división única la que esté a cargo de la planificación económica de toda la red de transporte nacional, para evitar la duplicación de las infraestructuras de transporte o, lo que es peor, la configuración de una red de transporte subóptima a largo plazo. De hecho, la planificación económica de los proyectos de infraestructura de transporte debe estudiar cuidadosamente el proceso dinámico asociado a las decisiones iniciales. Es necesario destacar la existencia de múltiples equilibrios a largo plazo para resolver el mismo problema de movilidad y la posibilidad de que se acabe estableciendo un equilibrio subóptimo cuando la evaluación se concentra en proyectos individuales y pierde la visión de conjunto de los efectos intermodales a largo plazo. Este es el problema de tratar un proyecto de forma aislada, ignorando las interacciones existentes con otros mercados y el proceso dinámico durante la vida del proyecto.

El caso del ferrocarril de alta velocidad frente al transporte aéreo es ilustrativo en los países en los que ambos sistemas se pueden considerar mutuamente excluyentes. En los países con baja densidad de población, el caso básico habitual es una red de aeropuertos con capacidad suficiente para proporcionar infraestructura para viajes de punto a punto de media distancia. La infraestructura ferroviaria de alta velocidad es una tecnología

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

para corredores de alto volumen, que es cara y tiene una alta proporción de costes hundidos. El carácter irreversible de la inversión es una de sus principales características. En comparación con el ferrocarril de alta velocidad, los costes hundidos y el carácter irreversible son menores en el caso de aeropuertos. La razón es doble: por un lado, el coste de construir aeropuertos depende del nivel de demanda, ya que cuando más alto sea este nivel, mayor será el tamaño del aeropuerto. En cambio, la parte más costosa de la infraestructura ferroviaria de alta velocidad son las vías férreas y, por tanto, el coste de construir la infraestructura ferroviaria varía poco con el nivel de demanda. Por otro lado, cuando dos regiones ya están conectadas por aeropuertos, solo se necesita un aeropuerto más para conectarla con una tercera región (la mitad de la inversión anterior). Sin embargo, cuando dos regiones ya están conectadas por ferrocarril, el coste de conectarlas con una tercera región es casi el mismo (de Rus y Socorro, 2017).

Así pues, a menos que el proyecto ferroviario de alta velocidad se evalúe detenidamente estudiando todas las alternativas y las consecuencias a largo plazo de la inversión, podría ocurrir perfectamente que la decisión inicial de construir líneas de alta velocidad acabase generando un equilibrio no deseado en el que la tecnología equivocada desplace una alternativa más barata, más eficiente, sostenible desde el punto de vista financiero y reversible. El ferrocarril de alta velocidad es una tecnología para resolver problemas de transporte, como también lo es el transporte aéreo. Por tanto, la neutralidad técnica tiene que ser un componente clave durante el proceso de planificación.

9.3. Evaluación de las infraestructuras de transporte

La inversión en infraestructura de transporte exige una considerable cantidad de fondos públicos, en un contexto en el que hay una elevada proporción de costes hundidos, irreversibilidad e incertidumbre en torno a la demanda. En este contexto, llevar a cabo un ACB sólido es fundamental para garantizar que solo se lleven finalmente a cabo los proyectos que aumenten el bienestar social. Sin embargo, como ya se ha señalado, puede haber casos en los que los gobiernos se desvíen del comportamiento maximizador del bienestar social e inviertan en proyectos que no son óptimos desde el punto de vista social. Si esto ocurre, y se exige llevar a cabo un ACB antes de la inversión, el gobierno tiene fuertes incentivos para sobreestimar los beneficios y subestimar los costes (Flyvbjerg, 2014), y el ACB se convierte en un mero trámite burocrático.

Un tema relacionado y de gran relevancia para la evaluación económica y el diseño institucional surge cuando hay diversos niveles de gobierno y el gobierno que evalúa el proyecto no es el mismo que financia la inversión. En particular, supongamos que los proyectos de transporte se evalúan en un marco en el que están implicados diferentes niveles de gobierno (por ejemplo, gobierno nacional y gobiernos regionales, o bien organismos supranacionales y nacionales), y donde los objetivos de los agentes

involucrados no coinciden. Suponiendo que un valor actual neto positivo constituye un requisito para que el proyecto salga adelante, y que el objetivo de un gobierno regional (o un gobierno nacional) es que su proyecto sea aprobado y financiado íntegramente por el gobierno nacional (o que sea financiado parcialmente por un organismo supranacional), los incentivos para sobreestimar los beneficios y subestimar los costes son evidentes. Esta separación entre quien promueve y quien paga el proyecto también afecta a las decisiones relativas a la capacidad de la infraestructura y al tipo de tecnología que debe elegirse (de Rus y Socorro, 2010).

Para evitar todos estos inconvenientes, debería ser un organismo independiente, que dispusiera de medios suficientes y una reputación técnica incuestionable, el encargado de evaluar todas las inversiones en infraestructura y asignar las correspondientes prioridades. En la evaluación económica de las infraestructuras de transporte deberían incluirse todas las alternativas (lo que implica incluir no solo todos los modos de transporte que pueden resolver el mismo problema de movilidad, sino también la posibilidad de posponer la inversión), y se deberían considerar todos los costes (independientemente de quién pague y de los diferentes niveles de gobierno implicados). Lo ideal sería que el organismo encargado de la evaluación valorara todos los proyectos públicos y no solo los proyectos de transporte, ya que, dada la restricción presupuestaria de los gobiernos, todos los proyectos públicos compiten entre sí. Se necesita una evaluación independiente y una aprobación formal de los proyectos de infraestructura para lograr decisiones de inversión eficientes.

En el caso de los proyectos suficientemente grandes, es posible introducir mejoras adicionales si, tras la etapa de evaluación social, el proyecto es revisado por una comisión o panel de alto nivel con autoridad para aprobarlo, pedir modificaciones, aplazar o rechazar el proyecto. Esta junta debería ir más allá del ACB y evaluar la viabilidad general del proyecto, sus interacciones con otros proyectos, las fuentes de financiación, etc. Para desempeñar su función, la comisión debería ser independiente desde el punto de vista político y financiero, asumir la responsabilidad de sus decisiones, y sus miembros deberían ser elegidos por sus competencias profesionales y su reputación y (Engel *et al*., 2014).

9.4. Regulación de la participación privada en la provisión de infraestructuras de transporte

Es responsabilidad del gobierno planificar la red de infraestructuras, pero no tiene mucho sentido construirla o explotarla directamente en monopolio en el caso de servicios que también pueden ofrecer las empresas privadas que compiten en el mercado. Si la competencia en el mercado no es posible, se debe crear competencia por el mercado, mediante la adjudicación de un monopolio temporal al mejor licitador elegido a través de un mecanismo de licitación bien concebido y un buen diseño de

contratos. Una vez que el contrato se ha diseñado, debería hacerse un seguimiento para garantizar que se cumplan todas sus condiciones y evitar la renegociación.

El diseño de contratos debe analizarse en un contexto de información asimétrica, considerando los problemas de riesgo moral y/o selección adversa. En teoría de contratos, la diferencia entre el riesgo moral y la selección adversa radica en el momento en el que aparece la información asimétrica, ya sea antes de la firma del contrato (problema de selección adversa) o después de que se firme el contrato (problema de riesgo moral). A través del diseño de contratos deben proporcionarse los incentivos adecuados a las empresas privadas, así como buscar la distribución óptima del riesgo. También debe controlarse la calidad a fin de garantizar que las empresas privadas no decidan recortar gastos mediante la reducción de la calidad. Si la calidad es verificable, puede incluirse en el contrato. Si la calidad no es verificable y, por tanto, no puede formar parte del contrato, el regulador debería ofrecer a las empresas privadas los incentivos adecuados para proporcionar el nivel de calidad deseado desde el punto de vista social.

La teoría económica sobre contratación pública utiliza el diseño de mecanismos para analizar el problema de información asimétrica e incentivos a través del llamado modelos de principal-agente (véase Laffont y Tirole, 1993, para un examen de la literatura relacionada). Aunque la mayoría de modelos teóricos sugieren un menú de contratos para tratar los problemas de información asimétrica, dichos menús no son muy utilizados en la práctica. En cambio, la gran mayoría de los contratos son variantes de contratos sencillos de precio fijo (*fixed-price*) o de un margen sobre el coste (*cost-plus*). En los contratos de precio fijo, se ofrece al contratista una cantidad fija para llevar a cabo el proyecto. Por el contrario, con un contrato basado en los costes se reembolsa al contratista los costes del proyecto. Los contratos de precio fijo presentan algunas ventajas e inconvenientes con respecto a los contratos basados en el coste. Por un lado, los contratos de precio fijo son los que ofrecen los mayores incentivos para la reducción de costes. Sin embargo, los contratos de precio fijo dejan todo el riesgo en manos del contratista, lo que aumenta la probabilidad de renegociación. Por el contrario, los contratos basados en el coste no suponen ningún riesgo para el contratista, pero no ofrecen incentivos para reducir los costes.

Cuando hay diferentes niveles de gobiernos y los gobiernos supranacionales (nacionales) financian a los gobiernos nacionales (regionales), los gobiernos nacionales (regionales) pueden perder sus incentivos para aplicar una tarificación óptima y para ofrecer contratos óptimos al sector privado. En este caso, hay que distinguir entre dos niveles diferentes en lo que respecta a la inversión en infraestructuras. El primer nivel está relacionado con el diseño institucional en el que se obtienen fondos supranacionales (nacionales), es decir, se centra en la relación entre el planificador supranacional (nacional) y el gobierno nacional (regional).

Una vez obtenidos los fondos supranacionales (nacionales), el segundo nivel está relacionado con la selección del contrato que se va a usar para la construcción, el mantenimiento y la operación de la infraestructura. Por tanto, el segundo nivel analiza la relación entre el gobierno nacional (regional) y el contratista. En un marco de información asimétrica, las características del mecanismo de financiación pueden ser decisivas en lo que respecta a los incentivos a seleccionar un contrato eficiente en la construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura en el segundo nivel, es decir, un contrato que busque los costes mínimos y los ingresos máximos desde el punto de vista social.

Para ilustrar esta situación, vamos a considerar tres tipos de mecanismos de financiación supranacionales utilizados en la práctica: mecanismos de financiación de margen sobre el coste total, de margen sobre el coste irrecuperable y de precio fijo. Con un mecanismo de financiación de margen sobre el coste total, la organización supranacional cubre un porcentaje de la diferencia entre el coste de inversión y los beneficios descontados del proyecto. Por tanto, se financian tanto los costes de inversión, como los de mantenimiento y operación. En cambio, con un mecanismo de financiación de margen sobre el coste irrecuperable, el organismo supranacional cubre solo un porcentaje de la diferencia entre el coste de inversión y los ingresos descontados tras deducir los costes de mantenimiento y operación. Por tanto, en este caso solo se pueden financiar los costes irrecuperables. El importe total que debe cofinanciarse es más alto cuanto mayores son los costes totales de inversión y cuanto menores son los ingresos, por lo que se trata de una especie de mecanismo de financiación de margen sobre el coste que penaliza los proyectos que generan ingresos. Por último, con un mecanismo de financiación de precio fijo se concede a los países una cantidad fija para apoyar los costes del proyecto elegido por el país.

Con un mecanismo de financiación de margen sobre el coste total, y suponiendo que no hay congestión, el incentivo es permitir el libre acceso a la nueva infraestructura, la cantidad es excesiva, y el nivel de financiación supranacional desproporcionado. En cambio, con un mecanismo de financiación de margen sobre el coste irrecuperable, siempre se aplica el precio óptimo desde el punto de vista social, aunque no hay incentivos en ser eficiente. Por último, con un mecanismo de financiación de precio fijo, se puede lograr la máxima eficiencia, y siempre se cobra el precio óptimo desde el punto de vista social.

Para regular la participación privada, se debe crear una agencia independiente, diferente del organismo encargado de la evaluación económica de los proyectos. Esta agencia independiente sería responsable de diseñar, adjudicar y gestionar los contratos de concesión para la participación privada en todos los modos de transporte, ofreciendo los incentivos adecuados. A su vez, esta agencia estaría integrada por tres unidades independientes: la primera, dedicada al diseño del contrato y al proceso de adjudicación,

la segunda, encargada de garantizar el cumplimiento del contrato, y la tercera, responsable de la resolución de conflictos y la evaluación de posibles renegociaciones.

Las licitaciones y los contratos deben diseñarse en una unidad especializada e independiente dentro de la agencia. Después de que el contrato se adjudique a una empresa privada o un concesionario, es importante cumplirlo y se necesita una supervisión independiente. La independencia es fundamental para romper el conflicto entre la promoción de nuevas inversiones y la supervisión estricta de los contratos. Por último, debería haber un mecanismo formal encargado de la resolución de conflictos. Los conflictos entre el concesionario y la unidad de supervisión deben ser arbitrados por un grupo de expertos independiente. El grupo debe examinar, asimismo, las renegociaciones del contrato, basando sus decisiones en consideraciones técnicas, judiciales y económicas. El concesionario debe asumir los riesgos del coste, siempre y cuando no se modifiquen las normas contractuales sobre los servicios. Ahora bien, si se necesitan inversiones suplementarias o se hace preciso mejorar los servicios, se debe indemnizar al concesionario. Esto exige que toda renegociación sea objeto de un examen independiente.

9.5. Regulación de los precios

En la **Sección 4**, analizamos la importancia que reviste el mecanismo de tarificación en la decisión relativa a la inversión. Además, argumentamos que las decisiones relacionadas con la tarificación afectan de manera diferente al bienestar social de los modos de transporte alternativos. Por tanto, al comparar diferentes alternativas de transporte, un sistema de tarificación concreto puede favorecer la creación de una red de infraestructura de transporte particular, y dar lugar a equilibrios a largo plazo que no serían óptimos con otros mecanismos de tarificación (de Rus y Socorro, 2019).

En la provisión pública, el precio pagado por los usuarios suele ser demasiado bajo por razones políticas, ya sea porque los políticos están más preocupados por maximizar la probabilidad de reelección y no por maximizar el bienestar social o debido a la presión de algunos *lobbies* o grupos de interés. La tarificación por debajo del precio óptimo desde el punto de vista social resulta ineficiente, lo que se traduce en una sobreutilización de la infraestructura de transporte, problemas de congestión en caso de escasa capacidad, o falta de mantenimiento, ya que las tasas de los usuarios puede que no cubran los costes de mantenimiento y operación. En cambio, en el caso de las participaciones público-privadas o privatización, los precios podrían ser demasiado altos y, por tanto, deberían estar regulados a fin de garantizar que maximicen el bienestar social y no solo los beneficios privados. El aumento de la participación privada debe ir acompañado de una mejora de la regulación de los precios, tarea que en los países avanzados corresponde a los reguladores. Este es uno de los retos que tiene que afrontar

el gobierno con respecto a la participación privada en las industrias con poca competencia: obtener la mejor participación privada en beneficio de toda la sociedad.

El organismo público encargado de la tarificación debe considerar el conjunto de la red de transporte y los efectos cruzados entre los distintos modos de transporte. El mecanismo de tarificación debe ser aquel que maximice el bienestar social, y no el que maximice la probabilidad de reelección, o el bienestar de algunos *lobbies* o grupos de interés. Dado que la función objetivo del gobierno que promueve el proyecto puede ser diferente del bienestar social, este organismo de regulación debe actuar con independencia de las empresas y del gobierno.

En general, la evaluación económica de un proyecto de infraestructura de transporte exige una tarificación óptima. Si el caso de referencia implica una tarificación subóptima desde el punto de vista social, el valor actual neto positivo de la inversión no es una condición suficiente para ejecutar el proyecto. En un mundo ideal, la condición necesaria y suficiente implica una diferencia positiva en el bienestar social entre los casos en los que la nueva infraestructura se construye y no se construye, y en ambos casos se aplica una tarificación óptima desde el punto de vista social. Este resultado no se deriva de la presencia de incertidumbre e irreversibilidad, sino de la relación entre la tarificación y las decisiones de inversión y la necesidad de considerar como referencia el caso en el que se maximiza el bienestar social, es decir, el caso en el que no se construye la infraestructura y la tarificación es óptima desde el punto de vista social.

Para tomar la decisión sobre el precio óptimo desde el punto de vista social que debe cobrarse por el uso de una infraestructura particular se ha de tener en cuenta la existencia de infraestructuras sustitutivas y complementarias (de Rus y Socorro, 2014). Este resultado tiene una implicación importante en lo que se refiere al diseño institucional de los organismos públicos, como el Ministerio de Fomento de muchos países, donde la división en unidades de gestión se suele basar en características tecnológicas (carretera, aire o ferrocarril) y las decisiones referentes a la tarificación se toman de forma aislada, en función de las características específicas de la infraestructura de transporte y sin tener en cuenta la visión de conjunto ni los importantes efectos cruzados entre los diferentes modos de transporte.

Además, en el caso de los ferrocarriles con separación vertical, el administrador de la vía férrea tiene que cobrar por el uso de la infraestructura al operador u operadores ferroviarios. El propósito común es lograr la eficiencia distributiva con el doble objetivo de distribuir de forma óptima la capacidad limitada de las líneas ferroviarias entre diferentes servicios y operadores, y decidir el nivel óptimo de inversión. Laffont *et al*. (1998) sugieren diferentes maneras de fijar las tasas de acceso con el fin de mantener la infraestructura y mantener el incentivo a la inversión.

En el caso de un operador de servicios monopolista, la tasa de acceso debería seguir la tarifa tradicional de dos partes, con un componente fijo (por ejemplo, anual) destinada a cubrir (total o parcialmente) los costes fijos de la infraestructura y una tasa variable por uso (tren o servicio) para cubrir el coste marginal.

En el caso de que varios operadores compitan en la prestación de servicios ferroviarios (la situación en España de los servicios ferroviarios de alta velocidad 2020), el acceso cobrado debe ser proporcional al uso. Para promover la competencia y facilitar que los nuevos operadores presten servicio en un mercado dominado por el operador preexistente (el monopolio público tradicional), una tarifa fija disuadirá a los pequeños operadores de competir, al menos hasta que alcancen un tamaño compatible con el pago de la parte fija de la tarifa. Por tanto, se trata de utilizar una tarifa de acceso lineal, una especie de tarificación media, más alta que los costes marginales de los servicios, para contribuir a cubrir los costes fijos de la infraestructura.

ANEXO A. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES MANUALES DE ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO EN TRANSPORTE

Existen diferentes procedimientos para llevar a cabo la evaluación económica de los proyectos de transporte. Aunque la mayoría de ellos comparten los mismos principios, no siempre se aplican de manera homogénea. Esto requiere que las personas encargadas de adoptar decisiones en el gobierno y los expertos en llevar a cabo los análisis coste-beneficio recurran a referencias y reglamentos claros y específicos, no sólo coherentes con los avances conceptuales en la teoría económica, sino también teniendo en cuenta las lecciones prácticas aprendidas de experiencias pasadas, sin ignorar en ningún caso que los procesos de evaluación en el mundo real generalmente se realizan dentro de contextos de información limitados.

Por tanto, como motivación y referencia general para el resto de este documento, este anexo examina algunas de las directrices oficiales más recientes relacionadas con la metodología para la evaluación económica de los proyectos de transporte. Para ello, se ha llevado a cabo una búsqueda selectiva de manuales y guías sobre este tema que hayan sido publicados en la última década, ya sea por organismos internacionales o gobiernos nacionales. Por último, hemos seleccionado cinco documentos, que están resumidos a continuación en las **Tablas A.1 a A.5**, que proporcionan instrucciones para la evaluación general de los proyectos de transporte, con o sin recomendaciones adicionales específicas a ciertos modos de transporte. Se ha analizado la estructura de cada documento y se ha comparado su contenido. La mayoría de ellos son sumamente prácticos, aunque no siempre renuncian a analizar aspectos teóricos del análisis coste-beneficio. Algunos de estos manuales también incluyen anexos que desarrollan en más detalle datos técnicos del análisis coste-beneficio, o incluso proporcionan plantillas de ejemplos. Sin embargo, las cuestiones que se han tratado particularmente en este análisis se refieren a los aspectos principales relacionados con la descripción del proyecto, los objetivos y comparación de alternativas, la identificación de beneficios y costes, su medición y los criterios de decisión respecto a proyectos de transporte. [46]

[46] Para simplificar las referencias incluidas en este anexo, a partir de ahora, a cada uno de los manuales revisados se le ha dado un nombre abreviado, tal y como se describe a continuación en la primera fila de cada una de las siguientes tablas.

TABLA A.1. Manuales oficiales recientes para la evaluación de proyectos de transporte (I)	
Nombre abreviado	**EU2015**
Nombre completo	*GUIDE TO COST-BENEFIT ANALYSIS OF INVESTMENT PROJECTS*[47] *Economic Appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*
Institución	European Commission Directorate-General for Regional and Urban Policy
Fecha de publicación	Junio 2015 (versión previa, 2008)
Idioma	Inglés
Descripción breve	Se trata de un ejemplo de un conjunto estándar de directrices para el análisis coste-beneficio en general, y para el transporte (y otros sectores) , en particular, por parte de una institución internacional. Actualiza y amplía la edición anterior de 2008 mediante la inclusión de varias consideraciones sobre la evolución reciente de las políticas de la UE y otras prácticas recomendadas internacionales. El documento (364 páginas) ofrece orientación práctica sobre las principales evaluaciones de proyectos, tal como se plasma en la legislación europea de política de cohesión para el periodo 2014-2020, y debe considerarse "como una contribución a una cultura de evaluación compartida a escala europea en el ámbito de evaluación de proyectos". Su principal objetivo es ilustrar los principios y normas comunes para la aplicación del enfoque del análisis coste-beneficio a los diferentes sectores. La guía se dirige a una amplia gama de usuarios, incluidos funcionarios de la Comisión Europea, de los Estados miembros y de los países candidatos, así como al personal de instituciones financieras y consultores que participan en la preparación o evaluación de proyectos de inversión. El texto es bastante completo y no requiere experiencia previa en la evaluación de proyectos. El texto principal se estructura en cinco temas principales: 1. Definición del proyecto 2. Viabilidad técnica y sostenibilidad ambiental 3. Análisis financiero 4. Análisis económico 5. Evaluación de riesgos La parte dedicada a los proyectos de transporte (pág. 77-144) también abarca estos temas, abordando además cuestiones detalladas sobre la previsión del tráfico, el ahorro de tiempo de viaje, los accidentes y otros factores externos. Esta parte también incluye tres estudios de casos sobre el transporte por carretera, ferroviario y urbano. En los anexos se examinan otros conceptos como, las tasas sociales de descuento, los salarios sombra, la disposición a pagar y el análisis probabilístico.
Fuente	https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf

[47] Florio *et al.* (2018) publicó un artículo académico que examina en detalle este documento e incluye más referencias a las políticas y reglamentos de inversión de la UE.

TABLA A.2. Manuales oficiales recientes para la evaluación de proyectos de transporte (II)	
Nombre abreviado	**EIB2013**
Nombre completo	*THE ECONOMIC APPRAISAL OF INVESTMENT PROJECTS AT THE EIB*
Institución	European Investment Bank Projects Directorate
Fecha de publicación	2013
Idioma	Inglés
Descripción breve	Otro ejemplo de directrices generales y sectoriales de análisis coste-beneficio proporcionadas por una institución internacional que se refiere a sí misma como "el organismo de préstamo de la Unión Europea", aunque también está activa en países no miembros de la UE. Esta guía (224 páginas) fue preparada por miembros del personal relacionados con la evaluación de proyectos y análisis económico, un procedimiento que desempeña un papel central en las operaciones del Banco Europeo de Inversiones (BEI) porque permite juzgar si un proyecto de inversión contribuirá al crecimiento económico y a la unidad de la UE y el progreso económico de sus socios. El documento combina técnicas estándar de evaluación económica, incluyendo el análisis coste-beneficio, el análisis de coste-efectividad y, más recientemente, el análisis multicriterio, teniendo en cuenta las características de cada sector. No pretende ser un manual, ni como un libro de texto; más bien explica "cómo lo hace el BEI", dando al lector general una visión general de los métodos utilizados, y al especialista una guía para la aplicación de diferentes herramientas analíticas en todos los sectores. En la parte metodológica intersectorial, el documento trata como temas principales: 1. La necesidad de una evaluación financiera y económica. 2. Definición de un escenario hipotético. 3. Incorporación de externalidades ambientales. 4. Mayores impactos económicos. 5. Vida económica y valor residual. 6. Tasa de descuento social. 7. Análisis de riesgos e incertidumbre. Con respecto a las cuestiones específicas al sector del transporte, esta guía analiza además, entre otros, temas sobre el valor del tiempo, la seguridad del transporte, los costes de operación de los vehículos y las categorías de tráfico, con estudios de casos sobre ferrocarriles interurbanos, carreteras, transporte público urbano, aeropuertos y puertos marítimos.
Fuente	https://www.eib.org/en/publications/economic-appraisal-of-investment-projects

TABLA A.3. Manuales oficiales recientes para la evaluación de proyectos de transporte (III)	
Nombre abreviado	**TAG2013**
Nombre completo	*TRANSPORT ANALYSIS GUIDANCE*
Institución	Department of Transport (United Kingdom)
Fecha de publicación	2013 (última actualización, mayo 2019)
Idioma	Inglés
Descripción breve	Un ejemplo de procedimientos administrativos detallados para el análisis coste-beneficio del transporte a nivel nacional. [48] La guía de análisis de transporte (TAG) es un conjunto de instrucciones públicas (disponibles en internet) para llevar a cabo estudios sobre el transporte. Proporciona enlaces a asesoramiento sobre cómo establecer objetivos e identificar problemas, desarrollar soluciones potenciales, crear un modelo de evaluación y cómo llevar a cabo una evaluación que cumpla con los requisitos del departamento para tomar una decisión en una etapa posterior. La web TAG se divide en tres niveles según el proceso de decisión administrativa: para el oficial responsable, para el director técnico del proyecto y para el profesional de la evaluación (incluidos los principios de modelización, los datos de referencia y ejemplos del libro de trabajo). Su estructura básica se puede resumir en los principales subdocumentos siguientes: 1. El proceso de evaluación del transporte [Visión general] 2. Unidad A1-1. Análisis coste-beneficio [Definición del proyecto, medición] 3. Unidad A1-2. Costes del esquema [Medición de costes, incertidumbre] 4. Unidad A1-3. Impactos de usuario y proveedor [Superávit de consumo, ahorro de tiempo, costes operativos, fiabilidad] 5. Unidad A2-1. Evaluación de impactos económicos más amplio [Definición y medición] 6. Unidad A2-2. Inversiones inducidas [Efectos indirectos en otros mercados] 7. Unidad A2-3. Efectos en el empleo [Efectos indirectos en los mercados de trabajo] 8. Unidad A2-4. Impactos de productividad [Aglomeración y efectos similares] 9. Unidad A3. Evaluación del impacto ambiental [Incluye ruido, calidad del aire, gases de efecto invernadero, impactos del paisaje y del agua] 10. Unidad A4-1. Evaluación de impacto social [Accidentes y problemas de seguridad, accesibilidad y asequibilidad] 11. Unidad A4-2. Evaluación del impacto en la distribución [Cuestiones de capital] Existen subdocumentos adicionales y más específicos sobre el análisis coste-beneficio por modo de transporte (para proyectos de marcha y ciclismo, intervenciones en aviación, ferrocarriles y carreteras y sobre el uso de costes marginales de congestión externa para estimar los beneficios de descongestión resultantes del cambio de modo diferente al uso del coche. También se proporcionan principios detallados de modelo y técnicas de previsión, así como fuentes de datos y referencias.
Fuente	https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-webtag

[48] La guía de análisis de transporte (TAG) es la aplicación práctica de las reglas definidas en los llamados *Green Books* sobre la evaluación de proyectos. Aunque algunas de las referencias son más recientes (HM Treasury, 2018), mantendremos la referencia TAG2013 por coherencia.

TABLA A.4. Manuales oficiales recientes para la evaluación de proyectos de transporte (IV)	
Nombre abreviado	**ADB2013**
Nombre completo	*COST-BENEFIT ANALYSIS FOR DEVELOPMENT: A PRACTICAL GUIDE*
Institución	Asian Development Bank
Fecha de publicación	2013 (versión previa, 1997)
Idioma	Inglés
Descripción breve	Un tercer ejemplo de directrices generales y específicas sobre el análisis coste-beneficio del transporte desde una perspectiva no europea, con un enfoque especial en los países en desarrollo. Esta guía (395 páginas) fue escrita en respuesta a las conclusiones de una revisión interna de los procedimientos del Banco Asiático de Desarrollo (ADB) para la evaluación de proyectos. La heterogeneidad de los resultados anteriores en los diferentes sectores sugería la necesidad de una armonización técnica acompañada de ejemplos claros y prácticos. Por este motivo, el documento incluye no sólo una parte metodológica general, sino también amplios y detallados estudios de casos centrados en infraestructuras (incluido el transporte). Por lo tanto, la primera parte se centra en las siguientes cuestiones: 1. Distribución de los ingresos y pobreza. 2. Riesgos e incertidumbres. 3. Problemas de valoración. 4. Sostenibilidad ambiental. 5. Elección de la tasa de descuento social. Por otro lado, el capítulo relacionado con el transporte (pág. 225-276) incluye un estudio de caso (mejora de la carretera) y abarca los siguientes temas: 1. Definición del proyecto. 2. Previsión de la demanda. 3. Beneficios del proyecto. 4. Precios sombra. 5. Beneficios para el desarrollo.
Fuente	https://www.adb.org/documents/cost-benefit-analysis-development-practical-guide

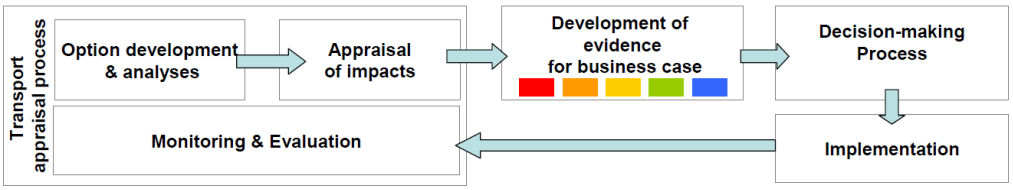
TABLA A.5. Manuales oficiales recientes para la evaluación de proyectos de transporte (V)	
Nombre abreviado	**CEDEX2010**
Nombre completo	*MANUAL DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE*
Institución	Ministerio de Fomento (España) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
Fecha de publicación	2010
Idioma	Español, Inglés
Descripción breve	Un ejemplo de un manual sobre el análisis coste-beneficio específico para el transporte, escrito desde una perspectiva académica para su uso como referencia general en los procesos de evaluación tanto por el Ministerio de Fomento (www.fomento.gob.es/) como por su unidad técnica, CEDEX (www.cedex.es). [49] Estas directrices (142 páginas) están destinadas a economistas, ingenieros y funcionarios interesados en proyectos de transporte, suponiendo que cualquier usuario potencial tuviera un conocimiento básico de economía. Su principal objetivo es proporcionar normas claras y principios económicos que ayuden a identificar y cuantificar la contribución precisa al bienestar social de cualquier proyecto de transporte, evitando el doble escrutinio y las omisiones pertinentes. La guía se aparta de la idea de que la inversión pública en transporte debe evaluarse mediante un análisis coste-beneficio, y que la existencia de costes de oportunidad para recursos sociales implica que la sociedad en su conjunto siempre debe considerar si lo que obtiene del proyecto excede lo que podría haber obtenido si se hubieran asignando los mismos recursos a usos alternativos. El documento se estructura en cinco secciones principales: 1. Definición del proyecto. 2. Criterios de decisión. 3. Cálculo de cambios en el bienestar social. 4. Identificación de costes y beneficios sociales. 5. Medición de costes y beneficios sociales. En los anexos se discuten las cuestiones relativas a la previsión de la demanda, la valoración de los efectos externos, la equidad y los impactos territoriales y el diseño institucional. Un conjunto de documentos de trabajo complementarios también proporcionan más debates sobre los efectos indirectos y las estimaciones de costes, con ejemplos de casos y valores de referencia.
Fuente	www.evaluaciondeproyectos.es

[49] El manual y los documentos que le acompañan contienen los principales resultados del proyecto PT-2007-001-02IAPP financiado por CEDEX.

A.1. Definición del proyecto

Los cinco manuales resumidos en las **Tablas A.1 a A.5** subrayan la importancia de una buena definición del proyecto para aclarar los objetivos de su evaluación y la importancia que tiene con respecto a los objetivos y las políticas globales del responsable de la toma de decisiones pertinente. Por ejemplo, dentro de la UE2015, el análisis coste-beneficio es explícitamente necesario, entre otros elementos, como base para decidir sobre la cofinanciación de los principales proyectos de la UE (por importes que superan los 50 millones de euros). En todos los casos, tanto a nivel nacional como supranacional, los proyectos deben ajustarse a las normativas sectoriales y generales y reflejar las prioridades estratégicas de las instituciones de planificación de los proyectos correspondientes. De hecho, el proceso de decisión siempre implica al menos una etapa técnica y otra política donde se toma la decisión final y se aprueba o no, independientemente de los resultados de la evaluación realizada.

Figura A.1. Evaluación del proyecto y proceso de decisión en el Reino Unido



Fuente: TAG2013

Por ejemplo, la evaluación de un proyecto de transporte y el proceso de toma de decisiones en el Reino Unido, detallados en TAG2013, están conectados, como muestra la **Figura A.1**, por medio de un algoritmo circular donde se tiene en cuenta el proceso de seguimiento y evaluación *ex ante* (antes de la decisión) y *ex post* (después de la implementación). En la Unión Europea y en las demás instituciones internacionales, el proceso es mucho más burocrático debido a las evidentes complejidades institucionales y políticas, pero básicamente abarca las mismas etapas.

En general, la fase técnica (la más relevante para este documento) de la definición del proyecto incluye una presentación del contexto socioeconómico, así como la definición de sus objetivos en términos de la necesidad de realizar la evaluación y de la importancia del proyecto. Una definición clara de los objetivos del proyecto es necesaria para identificar los efectos que deben evaluarse más en detalle en el análisis coste-beneficio. La identificación de los efectos debe vincularse a los objetivos del proyecto a fin de medir el impacto en el bienestar. "Cuanto más clara sea la definición de los objetivos, más fácil será la identificación del proyecto y sus efectos", tal como se indica en la UE2015.

En CEDEX2010, la definición de cualquier proyecto de transporte, considerado como cualquier intervención externa en un mercado de transporte, incluye además de este diagnóstico inicial, la enumeración de las alternativas para abordar el problema, y la elección del caso de referencia con el cual se hace la comparación.

En UE2015 y EIB2013 se hace mucho hincapié en la sostenibilidad técnica y medioambiental, que se encuentran entre los principales elementos de información que deben proporcionarse en la solicitud de financiación de grandes proyectos. En particular, es obligatorio un análisis coherente de la demanda, un análisis de opciones, consideraciones sobre el medio ambiente y el cambio climático y el diseño técnico, las estimaciones de costes y el calendario de aplicación. Para ADB2013, como era de esperar, las cuestiones de desarrollo social y el impacto en la pobreza también son importantes.

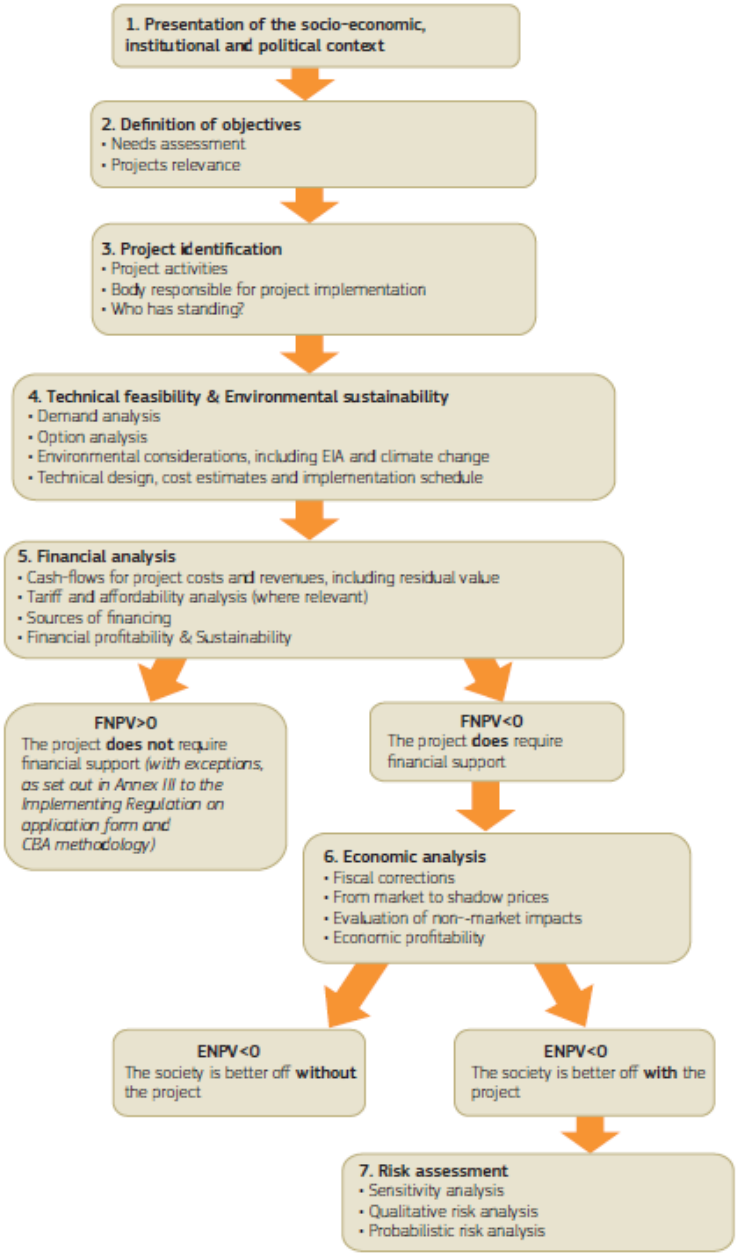
En todos los casos, el ACB se realiza mediante un enfoque incremental, comparando un escenario "con proyecto" con un escenario hipotético básico “sin proyecto”. La EU2013 establece claramente que cuando "... un proyecto consiste en un activo completamente nuevo, el escenario sin proyecto es uno sin operaciones. En los casos de inversiones destinadas a mejorar una instalación existente, debe incluir los costes y los ingresos/beneficios para operar y mantener el servicio a un nivel que siga operando de forma habitual (*business as usual*) o incluso realizando pequeñas inversiones de adaptación que estaban programadas para llevarse a cabo de todos modos”.

Del mismo modo, y dependiendo de cada caso, en la EIB2013 se identifican tres tipos básicos de escenarios hipotéticos con los que comparar el proyecto, 'no hacer nada', ‘hacer lo mínimo’ (utilizado por defecto) y 'hacer otra cosa' (que consistiría en una alternativa para cumplir los objetivos del proyecto, y se convierte en un escenario hipotético adecuado para analizar las opciones del proyecto, plazos y fases, una vez que se ha reconocido que "algo" debe hacerse). En todos los manuales, como se indica explícitamente en CEDEX2010, el caso base siempre sirve como punto de referencia para comparar lo que habría sucedido sin proyecto, por lo que no puede tener un carácter estático, sino que debe incluir la evolución de los mercados afectados por el proyecto si el proyecto no se hubiera llevado a cabo.

A.2. Métodos para identificar beneficios y costes

Además de la necesaria identificación de los efectos en relación con los objetivos del proyecto, cada uno de los manuales revisados propone diferentes enfoques sobre cómo deben incorporarse a la evaluación los beneficios y los costes. Por ejemplo, en la EU2015 el ACB estándar se estructura en siete pasos, distinguiendo entre el análisis financiero y económico.

Figura A.2. Evaluación del proyecto y proceso de decisión en la UE



Fuente: EU2015.

Por lo tanto, la viabilidad y la sostenibilidad figuran entre los elementos de información que deben facilitarse en la solicitud de financiación de los principales proyectos de la UE. Aunque ambos análisis no forman parte formalmente del ACB, sus resultados deben ser comunicados de manera concisa y deben incluir: un análisis de la demanda (que identifica la necesidad de una inversión mediante la evaluación de la demanda actual y futura), un análisis de las opciones (establecer y comparar una lista de

alternativas), consideraciones sobre el medio ambiente y el cambio climático,[50] y cuestiones pertinentes relativas al diseño técnico, estimaciones de costes y calendarios de implementación.

La EIB2013 también contiene una sección detallada sobre la incorporación de factores medioambientales externos, afirmando que "los costes externos deben añadirse junto con los costes de operación y mantenimiento a lo largo de la vida económica del activo. Esto requiere una estimación del volumen de externalidad y un precio unitario adecuado, o estimación de costes externos marginales (...)". Estas referencias se proporcionan en el manual, junto con las principales metodologías para estimar los impactos ambientales, aunque sin más desagregación por modos de transporte. Asuntos similares relacionados con los efectos ambientales se encuentran en TAG2013 y ADB2013.

CEDEX2010 analiza diferentes metodologías para identificar los efectos de un proyecto de transporte en el bienestar social. Se comparan dos enfoques similares, el cambio en los excedentes de los agentes y el cambio en la disposición a pagar (WTP) y el uso de los recursos. En cada caso, se debe utilizar uno u otro enfoque, ya que su combinación no es teóricamente correcta y una fuente importante de errores prácticos.

La EU2015 favorece el enfoque WTP, aunque sugiere el uso de una matriz de partes interesadas para evitar el doble recuento y/o la falta de agentes pertinentes. Por otro lado, tanto ADB2013 como TAG2013 parecen preferir abordar el cálculo de los beneficios de los usuarios utilizando la teoría convencional del excedente de los productores y el excedente de los consumidores "donde el excedente de los consumidores se define como el beneficio del que disfruta un consumidor, por encima de los costes que percibe", incorporando cambios en el tiempo de viaje, cambios en las tarifas de los usuarios (incluidas tarifas y peajes) y cambios en los costes de operación de los vehículos para el usuario (es decir, para el transporte privado). ADB2013 también distingue entre agentes, considerando por separado los excedentes de los trabajadores, los inversores y el gobierno. A raíz de su preocupación por el impacto de la pobreza, esta guía favorece especialmente el uso de pesos relativos en la adición de excedentes para obtener la función de bienestar social. Estas directrices sugieren la importancia de presentar cómo un proyecto tiene un impacto en diferentes grupos (por ejemplo, usuarios de automóviles, usuarios de transporte público, contribuyentes), en lugar de ocultar los impactos distributivos en la agregación de costes y beneficios de recursos. De hecho, en algunos de los estudios de casos de transporte presentados en la EIB2013 (en carreteras) este es el enfoque sugerido.

---

[50] Aunque no es un manual para CBA, la guía europea sobre el coste externo del transporte (*Handbook on the External Costs of Transport),* publicado en 2019 y analizado en profundidad en la **Sección 6**, también contiene información útil y referencias para realizar una evaluación económica de los proyectos de transporte desde un punto de vista externo medioambiental.

Por lo que respecta a los efectos indirectos y los impactos económicos más amplios, la EU2015 considera que, cuando los efectos directos se miden adecuadamente a través de precios sombra y todas las externalidades se han monetizado plenamente "los efectos indirectos que se producen en los mercados secundarios (por ejemplo, los impactos en la industria turística) no deben incluirse en la evaluación de los costes y beneficios del proyecto. La razón principal para no incluir los efectos indirectos no es porque sean más difíciles de identificar y cuantificar que los efectos directos, sino porque, si los mercados secundarios son eficientes, son irrelevantes en un entorno de equilibrio general, debido a que ya están capturados por los precios sombra. La adición de estos efectos a los costes y beneficios ya medidos en los mercados primarios suele dar lugar a un doble recuento".

La EIB2013 comparte una visión igualmente cautelosa, sugiriendo que cuando los beneficios de un proyecto, medidos mediante técnicas de evaluación estándar, no superan los costes, los promotores pueden sentirse tentados a buscar impactos económicos más amplios. En consonancia con la práctica estándar del ACB, afirman que el enfoque central de la evaluación económica es capturar con precisión los flujos en los mercados primarios pertinentes, y existe una presunción general contra la inclusión de impactos en los mercados secundarios, el PIB o las finanzas públicas, a menos que estos efectos estén plenamente justificados.

Por el contrario, TAG2013 parece ser más propenso a introducir efectos indirectos, pero siempre teniendo en cuenta que son específicos del contexto; el tipo y la magnitud de los impactos económicos que se producen dependerá del tipo de esquema y, lo que es más importante, de los atributos locales, como las aptitudes de los trabajadores, la disponibilidad de tierras para el desarrollo, etc.

A.3. Medición y agregación de los beneficios y costes

La mayoría de los manuales y guías consideradas hacen una clara distinción entre la evaluación financiera y económica. CEDEX2010 afirma que la evaluación económica se realiza comparando los costes y beneficios sociales de un proyecto de transporte, una vez homogeneizado a lo largo del tiempo a través de su valor actual neto social (VAN_S). Por otro lado, la evaluación financiera sólo compara los ingresos y los costes monetarios asociados al proyecto, calculando su valor actual neto financiero (VAN_F).

Según la UE2015, el análisis financiero debería llevarse a cabo, por regla general, desde el punto de vista del propietario de la infraestructura, a precios constantes (reales) y utilizando una tasa de descuento financiero y cubriendo un período adecuado a la utilidad económica de la vida del proyecto y sus probables impactos a largo plazo. Si, en la prestación de un servicio de interés general, el propietario y el operador no son los mismos, debe llevarse a cabo un análisis financiero consolidado, que excluye los flujos de efectivo entre el propietario y el operador, para evaluar la rentabilidad real de la

inversión, independientemente de los pagos internos. Alternativamente, el concepto clave en el análisis económico es el uso de precios sombra para reflejar el costo de oportunidad social de los bienes y servicios, en lugar de los precios observados en el mercado, que pueden estar distorsionados y requieren la conversión de precios de mercado a precios sombra, y evaluación de los impactos de no mercado y corrección de externalidades.

Curiosamente, en TAG2013 se recomienda un conjunto completo de tablas de evaluación modelo, solicitando un análisis extremadamente detallado de los costes y beneficios monetizados. También hay tablas para cuentas públicas (la opinión de los contribuyentes) y otras que monetizan los efectos externos. Las recomendaciones sobre la presentación de resultados están menos detalladas en ADB2013 y EIB2013, aunque en ambos casos -como corresponde a instituciones financieras multinacionales- el papel del análisis financiero es muy relevante. Las directrices de la UE2015 también prestan gran atención a la rentabilidad financiera y a la sostenibilidad financiera de los proyectos.

Con respecto a la definición de precios sombra y la valoración económica de los costes de oportunidad de los recursos, CEDEX2010 estableció algunas normas generales para corregir las distorsiones asociadas a los impuestos y la falta de competencia. Por ejemplo, los precios de los *inputs* y *outputs* deben considerarse, en general, netos de impuestos directos e indirectos. A pesar de estas normas generales, cuando los impuestos indirectos (o subvenciones) se pretenden como una corrección de externalidades, está justificado incluirlos en los costes del proyecto (beneficios), siempre que reflejen adecuadamente el coste marginal subyacente, pero la evaluación debe evitar el doble escrutinio (por ejemplo, incluir los impuestos sobre la energía y las estimaciones del total de costes ambientales externos).

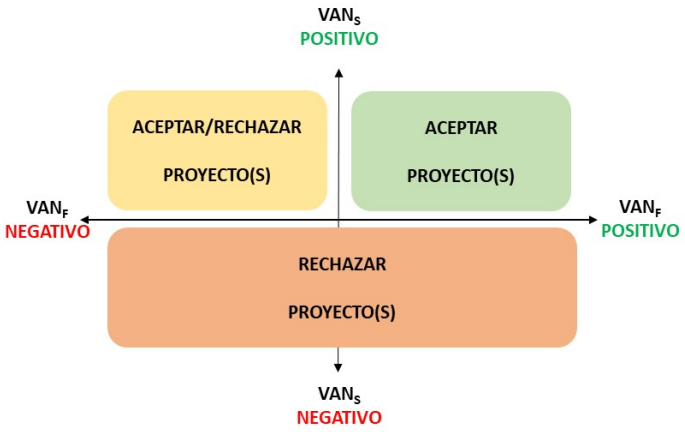
EU2015 sugiere correcciones adicionales para valorar los *inputs* del proyecto a precios sombra. Si son mercancías comerciables, se utilizan precios fronterizos; en caso contrario, las alternativas incluyen el uso de factores de conversión estándar (según las diferencias comerciales), la aplicación de supuestos *ad hoc* (dependiendo de las hipótesis específicas hechas sobre las condiciones del mercado) o el cálculo de un salario sombra (para el trabajo). En el caso de los *outputs*, el WTP marginal de los usuarios, sigue siendo el enfoque mejor y teóricamente correcto.

A.4. Criterios de decisión e interpretación de los resultados

Aunque es una cuestión clave en la evaluación del proyecto, no todos los manuales considerados dedican apartados específicos sobre la toma de decisiones. En el caso de la EU2015, como se muestra en la Figura A.2, el algoritmo es bastante simple: si $VAN_F > 0$ el proyecto no requiere apoyo financiero de la UE y, con algunas excepciones, no se

realiza ninguna evaluación adicional. En el caso estándar en el que el proyecto requiere apoyo (VAN_F <0), la evaluación económica se lleva a cabo, y se aprueba sólo $VAN_S > 0$, lo que significa que la sociedad está en mejor situación si se realiza el proyecto.

Figura A.3. Criterios de decisión en condiciones de certeza



Fuente: CEDEX2010

En CEDEX2010 el procedimiento de decisión sobre la aceptación o rechazo de un proyecto se muestra en la **Figura A.3**, donde los valores financieros y sociales se consideran de forma simultánea. Cuando el proyecto es socialmente deseable (VAN social positivo) pero no genera los fondos suficientes para atraer al sector privado (VAN financiero negativo), la sociedad debe llevar a cabo el proyecto sólo si no hay restricciones presupuestarias relevantes por parte del gobierno. Si existieran tales restricciones, la sociedad probablemente tendría que rechazar el proyecto. Cuando la decisión es clasificar diferentes proyectos, los criterios utilizados deben basarse en los principios anteriores. La sociedad debe priorizar los proyectos con valores sociales más elevados y retrasar o rechazar aquellos cuya contribución al bienestar social es menor, teniendo en cuenta en todo caso los límites presupuestarios.

Este es el mecanismo de decisión implícito en la mayoría de los manuales. Sólo ADB2013 lo critica, argumentando que no tiene en cuenta los efectos distributivos del proyecto. En general, estas directrices prefieren complementar la decisión utilizando un análisis multicriterio (MCA), de carácter cualitativo, en lugar de aceptar únicamente los resultados del ACB. En TAG 2013, la métrica principal utilizada para informar de los resultados del ACB en la mayoría de las circunstancias es la relación beneficio-coste (BCR), que requiere una definición clara de lo que constituye el valor actual de los beneficios (PVB) y el valor actual de los costes (PVC). La norma general es que el PVC debe incluir solo las repercusiones en el «presupuesto de transporte amplio», es decir, los costes y los ingresos que afectan directamente al presupuesto público disponible para el transporte. Todos los demás impactos, incluidos los costes de operación y los

ingresos de los proveedores de transporte del sector privado y los impactos en las finanzas públicas más amplias, deberían incluirse en el PVB. En la EIB2013, MCA también se admite cuando no sea posible usar el ACB completo u otras técnicas de evaluación cuantitativa.

A.5. Otras cuestiones

Hay muchos otros temas específicos que se tratan hasta cierto punto en una o más de las guías revisadas. Posiblemente, la más relevante sea sobre el tratamiento del riesgo, ya sea relacionado a la identificación de sus diferentes fuentes o a su inclusión en el cálculo de los beneficios y costes. Si bien CEDEX2010 considera que el riesgo es inherente al proceso de evaluación y debe ser incorporado desde el principio (incluso en los criterios de decisión), el resto de los manuales prefieren tratarlo como un elemento adicional después del ACB tradicional (sin análisis de riesgo).

EIB2013 y ADB2013 siguen un enfoque muy estándar basado en el análisis de la inversión privada, utilizando implícitamente el modelo de valoración de activos financieros (CAPM), mediante el cual el tipo de descuento aplicado a la corriente de beneficios y costes futuros se ajusta mediante la prima de riesgo correspondiente a la volatilidad esperada de tales corrientes, la volatilidad se toma como una medida de riesgo. En general, el tipo de análisis de riesgos que se puede aplicar a un proyecto determinado depende de la calidad de los datos disponibles al analista. Si es posible, se sugiere un análisis de riesgo completo (con simulaciones de Monte Carlo de las variables críticas). De lo contrario, una comparativa basada en distintos escenarios puede ser útil, incluida la identificación de valores de conmutación. El análisis de opciones reales también es admisible cuando la incertidumbre es particularmente alta y las inversiones son irreversibles.

EU2015 también considera que un análisis de riesgos es obligatorio para llevar a cabo el ACB de proyectos de transporte. Los pasos recomendados para evaluar los riesgos del proyecto incluyen un análisis de sensibilidad, un análisis cualitativo de riesgos y un análisis de riesgos probabilístico, que debe completarse con medidas de prevención y mitigación de riesgos. El manual reconoce que la evaluación del riesgo es una función compleja, pero siempre debe ser la base para la gestión del riesgo, incluida la forma de asignarlos a las partes implicadas y qué riesgos transferir a instituciones como compañías de seguros. TAG2013 proporciona una orientación detallada sobre cómo tratar el riesgo en la previsión de valores para las variables utilizadas en la evaluación del proyecto y cómo definir los diferentes valores bajo los cuales deben compararse e informarse.

Un segundo tema que se trata con cierto detalle en algunas de las guías analizadas se refiere a la elección de la tasa de descuento, tanto social como financiera, para calcular los valores actuales netos. ADB2013 presenta una encuesta detallada sobre esta

cuestión, considerando sus antecedentes teóricos y encontrando que hay variaciones significativas en las políticas de tasas sociales de descuento llevadas a cabo en países de todo el mundo, con los países en desarrollo en general aplicando tasas más altas. La política de este organismo sobre este tema sigue el enfoque del Banco Mundial y aplica, con pocas excepciones, una tasa mínima única del 10 %-12 %. La EIB2013 sostiene que, dado que las preferencias de tiempo social pueden diferir entre países, los tipos de descuento social también pueden diferir, y en consonancia con este punto de vista, para los proyectos en la UE, el BEI utiliza como referencia una tasa de descuento social real que oscila entre el 3,5 % al 5,5 %, dependiendo del grado de madurez y la tasa de crecimiento esperada de la economía nacional.

Dos anexos del UE2015 analizan, respectivamente, las principales cuestiones relativas a las tasas de descuento financieras y sociales. Reconocen la existencia de diferentes métodos y supuestos, pero finalmente recomiendan que, en el primer caso, un tipo de descuento del 4 % en términos reales se considere como el parámetro de referencia para el coste de oportunidad real del capital privado a largo plazo. No obstante, los valores que difieran de este punto de referencia pueden estar justificados por las tendencias y coyunturas macroeconómicas internacionales, las condiciones macroeconómicas específicas del Estado miembro y la naturaleza del inversor y/o del sector en cuestión. En el caso de los tipos de descuento social, el 5 % se utiliza para los grandes proyectos de los países de cohesión y el 3 % para los demás Estados miembros. Los Estados miembros podrán establecer un punto de referencia diferente si se justifica esta referencia sobre la base de una previsión de crecimiento económico y otros parámetros y su aplicación coherente se garantiza en proyectos similares en el mismo país, región o sector. En cualquier caso, la Comisión alienta a los gobiernos nacionales a que proporcionen sus propios puntos de referencia en sus documentos de orientación y a aplicarlos de forma homogénea en la evaluación de proyectos a nivel nacional.

Por último, hay otros elementos adicionales del ACB que no se tratan con suficiente profundidad en las guías analizadas.[51] Entre ellos, el más relevante es el valor del tiempo y, en particular, con respecto a los países de la Unión Europea. De hecho, el *Handbook on the External Costs of Transport* (véase **Sección 6**) es el documento que proporciona las referencias más actualizadas (especialmente para el transporte por carretera), tal como resume finalmente la **Tabla A.6.**

[51] Muchos de estos elementos son muy específicos y no siempre siguen los mismos criterios o definiciones. Por tanto, se recomienda una lectura de cada caso.

Tabla A.6. Valor de las referencias de tiempo: Media España y UE

Transporte de viajeros	Corta distancia / urbano		Larga distancia / interurbano	
	Viaje por trabajo	Viaje personal	Viaje por trabajo	Viaje personal
España	12,1	5,6	15	5,6
Promedio EU	**13,67**	**6,32**	**16,74**	**6,32**
Transporte de mercancías	**Valor por tonelada**		**Valor por vehículo**	
España	1,8		19,5	
Promedio EU	**1,7**		**18,2**	

Fuente: Comisión Europea (2019). Valores en 2016 euros (por persona o por tonelada).

ANEXO B. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LAS REGLAS DEL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

Consideremos un consumidor representativo con una función de utilidad continua y creciente que sólo depende de las cantidades elegidas dentro de un conjunto de actividades de consumo n, incluidos todos los bienes y servicios producidos en la economía,[52] $U(x_1,...,x_n)$, donde x_j representa la cantidad de un bien o servicio j, con $j = 1,..., n$. Este consumidor elige su conjunto óptimo de actividades de consumo maximizando su utilidad, dada su restricción presupuestaria. Esta restricción delimita todas las combinaciones de bienes y servicios que se pueden comprar en un momento dado, de acuerdo con los precios de mercado (exógenos) y la renta de los consumidores, que tiene dos componentes.

Por un lado, el consumidor obtiene ingresos por medio del trabajo. Denotemos por $\bar{l}$ la dotación de tiempo disponible para el consumidor (por ejemplo, 24 horas al día, o 365 días por año), y por t_j el tiempo necesario para consumir cada unidad de bienes o servicios j. Denotando por w el salario recibido por unidad de tiempo trabajado, los ingresos laborales del consumidor pueden representarse por wl, donde l representa el tiempo de trabajo elegido por el consumidor representativo, que se define por la diferencia

$$l = \bar{l} - \sum_{j=1}^{n} t_j x_j .$$

Por otro lado, asumiremos que todas las empresas son en última instancia propiedad de este consumidor representativo y que reparten todos sus beneficios; por lo tanto, los ingresos del consumidor que provienen de los beneficios de las empresas son:

$$\Pi = \sum_{j=1}^{n} \pi_j ,$$

donde π_j es el beneficio máximo obtenido por la empresa j al producir y vender el bien o servicio j. Desde el punto de vista de cada empresa, este beneficio se obtiene resolviendo el siguiente programa de maximización estándar:

$$\max_{l_j} \ \pi_j = p_j x_j^s - wl_j = p_j f_j(l_j) - wl_j , \qquad \textbf{(B.1)}$$

[52] El modelo desarrollado en este anexo proporciona una derivación más formal de todas las expresiones utilizadas en la **Sección 2**, basándose en Johansson (1993), Johansson y Kriststrom (2016), y De Rus y Johansson (2019).

donde p_j es el precio de mercado del bien o servicio j, y l_j representa la cantidad de mano de obra (el único *input* en este modelo) utilizado por la empresa j para producir x_j^s a través de la función de producción $f_j(l_j)$. Suponiendo que se cumplen todas las condiciones de equilibrio, la condición de primer orden de este problema viene dada por:

$$\frac{\partial \pi_j}{\partial l_j} = p_j \frac{df_j(l_j^*)}{dl_j} - w = 0, \qquad \textbf{(B.2)}$$

que nos permite obtener como solución $\pi_j = p_j f_j(l_j^*) - wl_j^*$. Se debe tener en cuenta en este equilibrio que la suma de todos los *inputs* laborales utilizados por las empresas debe ser equivalente al tiempo de trabajo ofrecido por el consumidor representativo, es decir,

$$\sum_{j=1}^{n} l_j^* = l.$$

Ahora podemos utilizar estos resultados para finalmente definir la restricción presupuestaria del consumidor, que viene dada por:

$$\sum_{j=1}^{n} p_j x_j \leq \Pi + wl \quad , \qquad \textbf{(B.3)}$$

que también se puede reescribir como:

$$\sum_{j=1}^{n} p_j x_j \leq \Pi + w\left(\overline{l} - \sum_{j=1}^{n} t_j x_j \right),$$

es decir:

$$\sum_{j=1}^{n} g_j x_j \leq \Pi + w\overline{l} \quad , \qquad \textbf{(B.4)}$$

donde $g_j = p_j + wt_j$ representa el precio generalizado del bien o servicio j.

Cabe señalar que las expresiones **(B.3)** y **(B.4)** son equivalentes y, por lo tanto, podemos escribir la restricción presupuestaria del consumidor en términos de los

precios de mercado, $p = (p_1,\ldots,p_n)$, y la renta de los consumidores, $\Pi + wl$, o alternativamente, en términos de los precios generalizados, $g = (g_1,\ldots,g_n)$, y la renta máxima (renta obtenida por el reparto de los beneficios de las empresas más el valor de la dotación de tiempo del consumidor), $\Pi + w\overline{l}$.

Ahora se puede resolver el problema de maximización del individuo. Si la función de utilidad satisface la propiedad de no-saciabilidad, la restricción presupuestaria se cumple con igualdad y el problema de maximización del consumidor se reduce a:

$$\begin{aligned} &\max_{x_1,\ldots,x_n} \; U(x_1,\ldots,x_n) \\ &\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{n} p_j x_j = \Pi + wl, \end{aligned} \tag{B.5}$$

o, equivalentemente, en término de los precios generalizados:

$$\begin{aligned} &\max_{x_1,\ldots,x_n} \; U(x_1,\ldots,x_n) \\ &s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} g_j x_j = \Pi + w\overline{l}. \end{aligned} \tag{B.6}$$

Esta segunda expresión es preferible para abordar la evaluación económica de proyectos de transporte, ya que la mayoría de ellos pueden interpretarse generalmente como cambios en los precios generalizados (ya sea debido a cambios en los precios de mercado o en el tiempo de viaje). La función de Lagrange correspondiente para resolver el problema **(B.6)** viene dada entonces por:

$$L = U(x_1,\ldots,x_n) - \lambda\left(\sum_{j=1}^{n} g_j x_j - \Pi - w\overline{l}\right), \tag{B.7}$$

que también se puede reescribir como:

$$L = U(x_1,\ldots,x_n) - \lambda\left(\sum_{j=1}^{n} g_j x_j - \sum_{j=1}^{n} p_j f_j(l_j^*) - w\sum_{j=1}^{n} t_j x_j\right). \tag{B.8}$$

Las condiciones de primer orden vienen dadas por:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial L}{\partial x_j} = \frac{\partial U(x^*)}{\partial x_j} - \lambda(g_j - wt_j) = 0, \\ &\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{j=1}^{n} g_j x_j^* - \Pi - w\overline{l} = 0, \end{aligned} \tag{B.9}$$

con $j = 1,\ldots,n$ y $x^* = (x_1^*,\ldots,x_n^*)$.

La solución del programa de maximización anterior permite obtener la función de demanda Marshalliana para cada bien o servicio *j*, definida por $x_j^* = x_j(g, y^g)$, con $y^g = \Pi + w\bar{l}$.

Al sustituir todas estas demandas en la función (directa) de utilidad, obtenemos la función indirecta de utilidad del consumidor, definida como:

$$U(x_1^*,...,x_n^*) = V(g, y^g)\,. \qquad \textbf{(B.10)}$$

Además, hay que señalar que al reemplazar la demanda Marshalliana en la función de Lagrange y teniendo en cuenta las condiciones de primer orden, tenemos, que en equilibrio:

$$L^* = V(g, y^g) - \lambda\left(\sum_{j=1}^{n} g_j x_j^* - \Pi - w\bar{l}\right) = V(g, y^g)\,, \qquad \textbf{(B.11)}$$

y, entonces:

$$\frac{\partial L^*}{\partial y^g} = \lambda = V_y = \frac{\partial V(g, y^g)}{\partial y^g}\,, \qquad \textbf{(B.12)}$$

es decir, el multiplicador de Lagrange puede interpretarse como la utilidad marginal de la renta del consumidor.

Una vez se ha resuelto el modelo y se ha encontrado un equilibrio en el consumo (y producción) para cada mercado *j*, cabe preguntarse ¿cómo pueden medirse los efectos de un proyecto de transporte en el bienestar social? En nuestro modelo con un único consumidor representativo, el cambio en el bienestar social, *dW*, equivale al cambio en la utilidad del consumidor: *dW* = *dU* y, por lo tanto, teniendo en cuenta la función directa de utilidad directa, podemos escribir:

$$dW = dU = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial U(x^*)}{\partial x_j} dx_j\,. \qquad \textbf{(B.13)}$$

A continuación, sustituyendo la condición de primer orden del programa de maximización del consumidor dado por **(B.9)** en la expresión **(B.13)**, obtenemos:

$$\frac{dW}{V_y} = \sum_{j=1}^{n} (g_j - wt_j) dx_j = \sum_{j=1}^{n} p_j dx_j\ . \qquad \textbf{(B.14)}$$

De forma similar, si usamos la función indirecta de utilidad, obtenemos:

$$dW = dV = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial V}{\partial g_j} dg_j + V_y dy^g \,. \qquad \textbf{(B.15)}$$

En primer lugar, se puede observar que la derivada parcial de la función Lagrangiana con respecto a g_j dada por la expresión **(B.8)** viene dada por:

$$\frac{\partial L}{\partial g_j} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial U}{\partial x_i} \frac{\partial x_i}{\partial g_j} - \lambda \left(x_j + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial x_i}{\partial g_j} g_i - \sum_{i=1}^{n} wt_i \frac{\partial x_i}{\partial g_j} \right),$$

y también que, en el óptimo tenemos:

$$\frac{\partial V(g, y^g)}{\partial g_j} = \frac{\partial L^*}{\partial g_j} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial U}{\partial x_i} - \lambda (g_i - wt_i) \right) \frac{\partial x_i}{\partial g_j} - \lambda x_j = -\lambda x_j \,. \qquad \textbf{(B.16)}$$

Así:

$$\frac{\partial V}{\partial g_j} = -\lambda x_j = -V_y x_j \,, \qquad \textbf{(B.17)}$$

que se puede sustituir en la expresión **(B.15)** para obtener finalmente una expresión que permita evaluar los efectos de los proyectos de transporte en el bienestar social:

$$\frac{dW}{V_y} = -\sum_{j=1}^{n} x_j dg_j + dy^g \,. \qquad \textbf{(B.18)}$$

Ahora consideremos que el proyecto de transporte, interpretado como un cambio en el precio generalizado del bien o servicio j, sólo se debe a un cambio en el precio de mercado p_j, mientras que el tiempo requerido de viaje t_j permanece constante, es decir, $dg_j = dp_j$. En este caso tenemos:

$$dy^g = d(\Pi + w\bar{l}) = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial \pi_j}{\partial p_j} dp_j = \sum_{j=1}^{n} x_j^s dp_j \,. \qquad \textbf{(B.19)}$$

Al sustituir este resultado en la expresión **(B.18)**, y suponiendo que todos los mercados de productos están en equilibrio $x_j = x_j^s$:

$$\frac{dW}{V_y} = -\sum_{j=1}^{n} x_j dp_j + \sum_{j=1}^{n} x_j^s p_j = 0 \,, \qquad \textbf{(B.20)}$$

es decir, un cambio en el precio generalizado del bien o servicio j debido a un cambio en el precio de mercado p_j (con t_j constante) no produce ningún efecto sobre el bienestar social.

Alternativamente, considere ahora que el cambio en el precio generalizado del bien o servicio j se debe a un cambio en el tiempo t_j mientras que el precio de mercado p_j permanece constante, es decir, $dg_j = wdt_j$. En este caso:

$$dy^g = d(\Pi + w\bar{l}) = \sum_{j=1}^{n} w \frac{\partial \pi_j}{\partial t_j} dt_j = \sum_{j=1}^{n} w \left(p_j \frac{\partial f_j(l_j^*)}{\partial l_j} - w \right) \frac{\partial l_j}{\partial t_j} dt_j \ , \qquad \textbf{(B.21)}$$

que, de acuerdo con la condición del primer orden del programa de maximización de beneficios de la empresa j dada por la expresión **(B.2)** es cero, es decir, $dy^g = 0$. Luego, al sustituirlo en la expresión **(B.18)**, finalmente obtenemos:

$$\frac{dW}{V_y} = -\sum_{j=1}^{n} x_j w dt_j \ , \qquad \textbf{(B.22)}$$

como se explica en detalle en la **Sección 2**.

REFERENCIAS

Ahlfeldt, G. M., Redding, S. J., Sturm, D. M. y Wolf, N. (2015): "The economics of density: Evidence from the berlin wall". *Econometrica*, 83 (6): 2127-2189.

Becker, G. S. (1983): "A theory of competition among pressure groups for political influence". *The Quarterly Journal of Economics*, 98: 371-400.

Brülhart, M., y Mathys, N. A. (2008): "Sectoral agglomeration economies in a panel of European regions". *Regional Science and Urban Economics*, 38: 348-362.

Carbo, J. M., Graham, D. J., Anupriya, Casas, D. y Melo, P. C. (2019): "Evaluating the causal economic impacts of transport investments: Evidence from the Madrid-Barcelona high speed rail corridor". *Journal of Applied Statistics* 46: 1714-1723.

CE/INFRAS/ISI (2011): *External costs of transport in Europe*. Delft: CE Delft.

Ciccone, A. (2002): "Agglomeration effects in Europe". *European Economic Review*, 46: 213-227.

Collier, P. y Venables, A. J. (2018): "Who gets the urban surplus?". *Journal of Economic Geography*, 18(3):523-38.

Combes, P. P., Duranton, G. y Gobillon, L. (2008): "Spatial wage disparities: sorting matters!". *Journal of Urban Economics*, 63: 723-742.

Combes, P. P., Duranton, G., Gobillon, L. y Roux, S. (2010): "Estimating agglomeration economies with history, geology, and worker effects". En: Glaeser, E. L. (ED.) *Agglomeration economics*. Chicago, IL: University of Chicago press.

Combes, P. P., Duranton, G., Gobillon, L. y Roux, S. (2012): "Sorting and local wage and skill distributions in France". *Regional Science and Urban Economics* 42: 913-930.

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

Christidis, P. y Brons, M. (2016): *External costs of freight transport in European Union Member States*, s.l.: European Commission, Joint Research Centre (JRC).

Dahlby, B. (2008): *The marginal cot of public funds. Theory and applications.* The MIT Press.

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

de Rus, G. (2011): "The BCA of HSR: Should the government invest in high speed rail infrastructure?". *The Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2(1):1-28.

de Rus, G. (2015): "La política de infraestructuras en España. Una reforma pendiente". *Policy Papers* 2015-08, FEDEA.

de Rus, G. y Johansson, P. O. (2019): "Measuring the economic effects of transport improvements". *Policy Papers* 2019/01, FEDEA.

de Rus, G. y Socorro, M. P. (2010): "Infrastructure investment and incentives with supranational funding". *Transition Studies Review*, 17(3): 551-567.

de Rus, G. y Socorro, M. P. (2014): "Access pricing, infrastructure investment and intermodal competition". *Transportation Research Part E*, 70: 374-387.

de Rus, G. y Socorro, M. P. (2017): "Planning, evaluation and financing of transport infrastructures: Rethinking the basics". *Review of Network Economics*, 16(2):143-160.

de Rus, G. y Socorro, M. P. (2019): "Pricing and investment in alternative transport infrastructures". *Transportation Research Part A*, 119: 90-107.

DfT (2016). TAG UNIT A2.1: Wider Economic Impacts Appraisal. London: HMSO.

Di addario S. y Patacchini E. (2008): "Wages and the city. Evidence from Italy". *Labour Economics*, 15: 1040-1061.

Dupuit, J. (1995): "De la mesure de l'utilité des travaux publics (1844)". *Revue Française d'Économie*, Programme National Persée, 10(2): 55-94.

Downs, A. (1957): *An economic analysis of democracy*. New York: Harper& Row.

Duranton G. y Puga, D. (2004): "Micro-foundations of urban agglomeration" economies. En: Henderson, J. V., Thisse, J. F. (eds.) *Handbook of Regional and Urban Economics*. Amsterdam: Elsevier.

Engel, E., Fischer, R. y Galetovic, A. (2014): *The Economics of Public-Private Partnerships*. Cambridge University Press.

Eddington, R. (2006): *The Eddington Transport Study. Main report: transport's role in sustaining the UK's productivity and competitiveness*. Londres: The Stationery Office.

Florio, M., Morretta, V. y Willak, W. (2018): "Cost-Benefit Analysis and European Union Cohesion Policy: Economic Versus Financial Returns in Investment Project Appraisal". *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 9(1): 147-180.

Flyvbjerg, B. (2014): "What you should know about megaprojects and why: An overview". *Project Management Journal*, 45(2): 6–19.

Flyvbjerg, B., Ansar, A., Budzier, A., Buhl, S., Cantarelli, C., Garbuio, M., Glenting, C., Holm, M.S., Lovallo, D., Lunn, D., Molin, E., Rønnest, A., Stewart, A. y Van Wee, B. (2018): "Five things you should know about cost overrun". *Transportation Research Part A*, 118: 174-190.

Freeman, A. (1993): *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*, Resources for the Future, Washington D.C.

Gahvari, F. (2006): "On the marginal cost of public funds and the optimal provision of public goods". *Journal of Public Economics*, 90:1251-1262.

Graham, D. J. y Gibbons, S. (2019): "Quantifying wider economic impacts of agglomeration for transport appraisal: existing evidence and future directions". *Economic of Transportation*, 19: 1-21.

Graham, D. J., Gibbons, S., Martin, R. (2009): "Transport investments and the distance decay of agglomeration benefits". *Working paper*, Imperial College of London.

Graham, D. J., McCoy, E. J. y Stephens, D. A. (2014): "Quantifying causal effects of road network capacity expansions on traffic volume and density via a mixed model propensity score estimator". *Journal of American Statistical Association*, 109(508): 1440-1449.

Hanemann, W. M. (1982): "Applied welfare analysis with qualitative response models", *CUDARE Working Papers*, 241. University of California, Berkeley.

Harberger, A.C. (1965): "Survey of literature on cost-benefit analysis for industrial project evaluation". Paper preparado para el Inter-Regional Symposium in Industrial Project Evaluation, publicado en A.C. Harberger, Project Evaluation (collected papers) (Midway Reprint Series), Chicago: The University of Chicago Press.

Harberger, A.C. (1976): *Project Evaluation (collected papers)*, Midway Reprint. University of Chicago Press. Chicago.

Holl, A. (2012): "Market potential and firm-level productivity in Spain". *Journal of Economic Geography*, 12 (6): 1191-1215.

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

HM Treasury (2018): *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*. London: Treasury Guidance.

INFRAS/IWW (2004): *External costs of transport: Update study*, Karlsruhe & Zürich: Infras & IWW.

Johansson, P. O. (1993): *Cost-benefit analysis of environmental change*, Cambridge University Press, Cambridge, MA.

Johansson, P. O. y Kriström, B. (2016): *Cost-benefit analysis for project appraisal*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.

Johansson, P. O. y Kriström, B. (2019): "On the Formulation of the Alternative Scenario in Cost-Benefit Analysis", *CERE Working Papers* 2019:6. Centre for Environmental and Resource Economics. Umeå University and Swedish University of Agricultural Sciences.

Kahneman, D. y Tversky, A. (1979): "Prospect theory: An analysis of decisions under risk". *Econometrica*, 47 (2): 263-291.

Laffont, J. J., Rey, P. y Tirole, J. (1998): "Network Competition: I. Overview and Nondiscriminatory Pricing". *The RAND Journal of Economics*, 29 (1): 1-37.

Laffont, J. J. y Tirole, J. (1993): *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press, Cambridge. MA

Lancaster, K. J. (1966): "A new approach to consumer theory". *Journal of Political Economy*, 74: 132-57.

Li, H., Graham, D.J. y Majumbdar, A. (2013): "The impacts of speed cameras on road accidents: an application of propensity score matching methods". *Accident Analysis and Prevention*, 60: 148-157.

Mackie, P. J., Jara-Díaz, S. y Fowkes, A.S. (2001): "The value of travel time savings in evaluation". *Transportation Research Part E*, 37: 91–106.

Mackie, P., Graham, D. J. y Laird, D. (2012): "Direct and wider economic benefits in transport appraisal". In Andre de Palma, Robin Lindsey, Emile Quinet, Roger Vickerman (eds), *Handbook in Transport Economics*. Edward Elgar, London, 501-526.

Mackie, P. J., Worsley, T., y Eliasson, J. (2014): "Transport appraisal revisited". *Research in Transportation Economics*, 47: 3-18.

Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B. y Bak, M. (2008): "Internalisation Measures and Policies for All External Cost of Transport (IMPACT)". *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, Version 1.1 Report Delft.

Marrocu, E., Paci, R. y Usai, S. (2013): "Productivity growth in the old and new Europe: The role of agglomeration externalities". *Journal of Regional Science*, 53: 418-442.

Martin, P., Mayer, T. y Mayneris, F. (2011): "Spatial concentration and plant-level productivity in France". *Journal of Urban Economics*, 69: 182-195.

Melo, P. C., Graham, D. J. y Noland, R. B. (2009): "A meta-analysis of estimates of urban agglomeration economies". *Regional Science and Urban Economics*, 39: 332-342.

Mion, G. y Naticchioni, P. (2005): "Urbanization externalities, market potential and spatial sorting of skills and firms". *Cepr discussion papers* 5172. Centre for economic performance, London School of Economics and Political Science.

Mohring, H. (1972): "Optimization and scale economies in urban bus transportation". *American Economic Review*, 62(4): 591-604.

Mohring, H. (1976): *Transportation Economics*. Ballinger Publishing Company.

Navrud, S., (2002): *The state-of-the-art on economic valuation of noise*. Final Report to European Commission DG Environment.

Neuberger, H. (1971): "User benefit in the evaluation of transport and land use plans". *Journal of Transport Economics and Policy*, 3: 52-75.

Niskanen, W. A. (1971): *Bureaucracy and representative government.* Chicago: Aldine-Atherton.

Quinet, E. (2003): "Short term adjustments in rail activity: The limited role of infrastructure charges". *Transport Policy*, 10(1): 73-79.

Robinson, J. A. y Torvik, R. (2005): "White elephants". *Journal of Public Economics*, 89: 197-210.

Savvides, S.C. (1994): "Risk analysis in investment appraisal". *MPRA Paper* 10035, University Library of Munich, Germany, revised 14 Aug 2008.

Small, K.A. (1999): "Project evaluation". In Gómez-Ibáñez, J.A., Tye, W.B. and W. Clifford (eds.): *Essays in Transportation Economics*. Brooking Institution Press, Washington DC.

Sobel, R. S. (1998): "The political costs of tax increases and expenditure reductions: Evidence from state legislative turnover". *Public Choice*, 96: 61-80.

Stigler, G. (1971): "The theory of economic regulation". *Bell Journal of Economics*, 2 (1): 3-21.

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

Viscussi, W.K. (2018): *Pricing lives. Guideposts for a safer society*. Princeton University Press, Oxford

Willig, R.D. (1976): "Consumer's surplus without apology". *American Economic Review*, 66(4): 589-97.

Zanakis, S. H., Solomon, A., Wishart, N. y Dublish, S. (1998): "Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods". *European Journal of Operational Research*, 107: 507-529.