



NOTA DE SERVICIO 3/2014 SOBRE PRESCRIPCIONES Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS RELATIVAS A LOS CONTENIDOS MÍNIMOS A INCLUIR EN LOS ESTUDIOS DE RENTABILIDAD DE LOS ESTUDIOS INFORMATIVOS O ANTEPROYECTOS DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

“Las infraestructuras viarias deben diseñarse para dar servicio a los ciudadanos pero también es necesario alinear aspectos que permitan optimizar inversiones asegurando la demanda (estudios de tráfico reales) y garantizando la financiación de la infraestructura”.

Uno de los dos objetivos fundamentales en la actualidad es la racionalización del gasto público, por lo que en este contexto económico la eficiencia exigida en las inversiones públicas, obliga a una revisión de la metodología empleada en la redacción de los Estudios Informativos.

Esta revisión pasa por una actualización, de los Estudios de Rentabilidad.

La eficiencia de los proyectos empieza con un buen Estudio de Rentabilidad que estudie, además de la “rentabilidad económica” de la infraestructura viaria objeto de estudio, en donde se analiza la contribución del proyecto al bienestar social, la “rentabilidad financiera” que determina si dicho proyecto permitiría la participación privada y por tanto si la generación de ingresos cubriría sus costes, todo ello debe ir acompañado de una inmediata implementación de herramientas modernas y metodologías que funcionan.

El objetivo prioritario de efectuar un Estudio de Rentabilidad en un Estudio Informativo o Anteproyecto de una carretera es proporcionar al decisor una herramienta para valorar la viabilidad social y/o financiera de la inversión, mediante la medida de la rentabilidad de la inversión. De este modo será posible establecer una comparación entre las diferentes alternativas que se analizan en el Estudio.

Para ello en esta Nota se pone de manifiesto que en el Estudio de Rentabilidad se deben cumplir los siguientes hitos:

1. Cuantificación y valoración de beneficios y costes sociales.
2. Determinación de indicadores/herramientas de decisión, que permitan aprobar-rechazar o elegir entre un conjunto de alternativas.
3. Valoración de riesgos asociados al proyecto.
4. Adopción de decisiones.



Para el desarrollo metodológico de estos cuatro hitos, existe bibliografía especializada en relación a la evaluación económica de proyectos de transporte, en la que se desarrollan técnicas para cuantificar los beneficios y costes sociales, obtención de indicadores y criterios para la toma de decisiones, destacando las siguientes referencias:

- Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste-Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, publicado por el MOPU en el año 1990 y actualizado en el año 2010.

En esta publicación, se establecían las fases generales que debía contenerse en la evaluación económica de proyectos de carreteras, una metodología para el cálculo de los costes del proyecto, proponiendo formulación específica para su determinación y una propuesta de indicadores para la comparación de alternativas, para la que se establecía una serie de criterios de selección.

- Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, publicado por la Dirección General de Política Regional de la Comisión Europea en Julio de 2008.

Esta Guía actualiza la publicada en el año 2002, y tiene por objeto ofrecer una orientación en la evaluación económica de proyecto, que permitiera adoptar un lenguaje común entre los diferentes países incluidos en la Política de Cohesión de la UE. Se trata de una metodología orientada a la evaluación de proyectos que solicitan fondos estructurales.

- Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte, publicado por el CEDEX en Agosto de 2010.

En este Manual se propone una metodología para la evaluación económica de proyectos de transporte en general, con objeto de identificar y cuantificar la contribución de un proyecto al bienestar de la sociedad. En este documento se desarrolla fundamentalmente la perspectiva de la rentabilidad económica mencionando al inicio del mismo algunos aspectos generales relacionados con la rentabilidad financiera.

De estas publicaciones, se toman como referencia para establecer los contenidos mínimos de un Estudio de Rentabilidad de un Estudio Informativo o Anteproyecto de una carretera, el Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte y Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, dado que:

1. Representan las metodologías más novedosas en materia de Evaluación Económica de Proyectos.
2. Están publicadas por organismos públicos a nivel nacional y europeo.
3. Presentan una metodología clara y perfectamente ordenada de los procesos de evaluación económica.



4. En el caso de guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, permitiría compatibilizar el Estudio de Rentabilidad de un Estudio Informativo o Anteproyecto al de un Análisis Coste – Beneficio en el marco de solicitud de co-financiación a través de fondos estructurales.

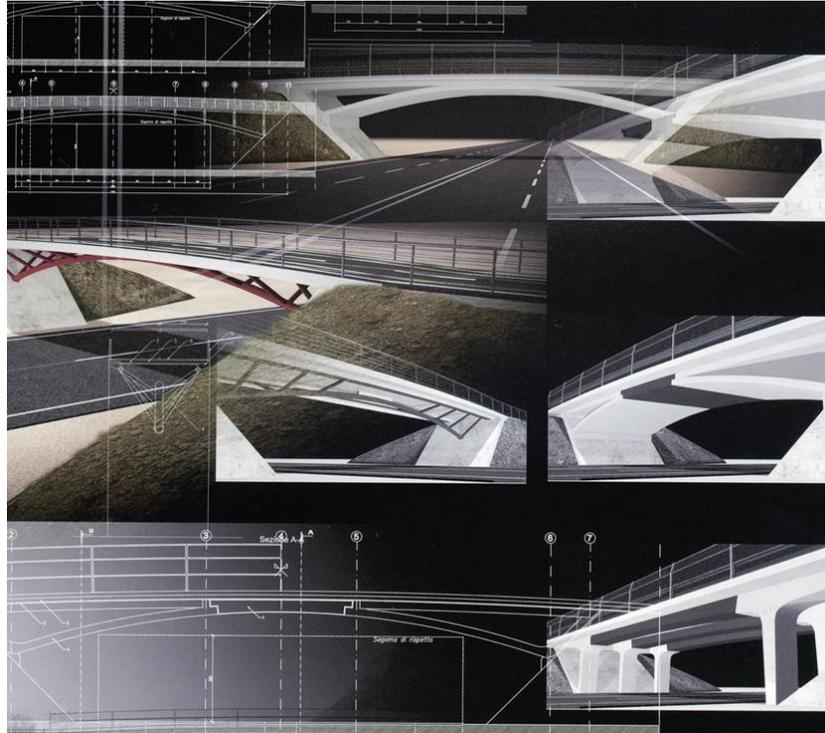
La metodología base resultante de la combinación de ambas publicaciones, se complementará con propuestas concretas para la formulación, valores de referencia y criterios de decisión basadas en otros documentos de referencia como se explicará a continuación. De este modo se logrará crear un marco metodológico y de apoyo a la Dirección de Estudio con dos objetivos fundamentales:

1. Homogeneizar los Estudios de Rentabilidad.
2. Disponer de herramientas actualizadas para la realización de este tipo de estudios.

A continuación se incluye el contenido de esta Nota de Servicio que deberá aplicarse, en la medida de lo posible, en la elaboración de los Estudios de Rentabilidad incluidos en los Estudios Informativos o Anteproyectos de actuaciones en la Red de Carreteras del Estado.

Madrid, 11 de abril de 2014
LA SUBDIRECTORA GENERAL
DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Fdo.: Fuencisla Sancho Gómez



NOTA DE SERVICIO 3/2014

Prescripciones y recomendaciones técnicas relativas a los contenidos mínimos a incluir en los Estudios de Rentabilidad de los Estudios Informativos de la Subdirección General de Estudios y Proyectos

CONTENIDO:

1.	Introducción	1
2.	Concepto de Rentabilidad	1
3.	Objeto del Estudio de Rentabilidad	2
4.	Metodología	2
5.	Bibliografía	44



ANEXO: PRESCRIPCIONES Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS RELATIVAS A LOS CONTENIDOS MÍNIMOS A INCLUIR EN LOS ESTUDIOS DE RENTABILIDAD DE LOS ESTUDIOS INFORMATIVOS O ANTEPROYECTOS DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

1. INTRODUCCIÓN

El presente Anexo tiene por objeto establecer los contenidos mínimos que deben tenerse en cuenta en la redacción de los estudios de rentabilidad de los Estudios Informativos y Anteproyectos de carreteras de la Subdirección General de Estudios y Proyectos.

2. CONCEPTO DE RENTABILIDAD

El concepto rentabilidad de una inversión en su concepción general mide la tasa de recuperación de una inversión a partir de la generación de ingresos de una determinada actividad. Esta rentabilidad se materializa a través de una serie de indicadores o herramientas como son: la Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actualizado Neto (VAN) o relación Beneficio-Coste (B/C).

Esta rentabilidad es el resultado de un proceso de evaluación del proyecto que se analiza, lo cual permite la comparación de alternativas y proporciona información al decisor sobre la idoneidad de ejecutar el mismo.

Para la evaluación de cualquier proyecto de transporte, y de una carretera en particular, debe analizarse la rentabilidad desde dos perspectivas: la económica y la financiera.

La evaluación económica valora los beneficios y costes que la nueva infraestructura genera en la sociedad en su conjunto, sin embargo la evaluación financiera realiza esta valoración centrada únicamente en los ingresos y costes generados por la misma.

Dicho de otro modo, la evaluación económica determina la contribución del proyecto al bienestar social, mostrando la idoneidad de realizar el proyecto o no. Por el contrario, desde la perspectiva de la evaluación financiera, se determina si el proyecto permitiría la participación privada y por tanto si la generación de ingresos cubriría los costes.

La evaluación económica se materializa mediante la realización del análisis Coste – Beneficio, en el que se asignan valores monetarios a los beneficios y costes del proyecto, permitiendo de



este modo la obtención de flujos de caja a partir de los cuales obtener indicadores que cuantifiquen la rentabilidad económica del proyecto.

En el caso de la evaluación financiera, la incorporación de valores monetarios de los ingresos y costes del proyecto resulta más tangible, dado que no habría que monetizar los beneficios sociales.

3. OBJETO DEL ESTUDIO DE RENTABILIDAD

El objetivo de efectuar un estudio de rentabilidad en un Estudio Informativo o Anteproyecto de una carretera será proporcionar al decisor una herramienta para valorar la viabilidad social y/o financiera de la inversión, mediante la medida de la rentabilidad de la inversión. De este modo será posible establecer una comparación entre las diferentes alternativas que se analizan en el Estudio.

Para ello en el Estudio de Rentabilidad se deben cumplir los siguientes hitos:

1. Cuantificación y valoración de beneficios y costes sociales.
2. Determinación de indicadores/herramientas de decisión, que permitan aprobar-rechazar o elegir entre un conjunto de alternativas.
3. Valoración de riesgos asociados al proyecto.
4. Adopción de decisiones.

4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo metodológico de los cuatro hitos indicados en el apartado anterior, existe bibliografía especializada en relación a la evaluación económica de proyectos de transporte, en la que se desarrollan técnicas para cuantificar los beneficios y costes sociales, obtención de indicadores y criterios para la toma de decisiones.

Como referencias más relevantes para el desarrollo metodológico de los puntos anteriores, se citan las siguientes:

- Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, publicado por el MOPU en el año 1990 y actualizado en el año 2010.



En esta publicación, se establecían las fases generales que debía contenerse en la evaluación económica de proyectos de carreteras, una metodología para el cálculo de los costes del proyecto, proponiendo formulación específica para su determinación y una propuesta de indicadores para la comparación de alternativas, para la que se establecía una serie de criterios de selección.

- Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, publicado por la Dirección General de Política Regional de la Comisión Europea en Julio de 2008.

Esta Guía actualiza la publicada en el año 2002, y tiene por objetivo ofrecer una orientación en la evaluación económica de proyecto, que permitiera adoptar un lenguaje común entre los diferentes países incluidos en la Política de Cohesión de la UE. Se trata de una metodología orientada a la evaluación de proyectos que solicitan fondos estructurales.

- Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte, publicado por el CEDEX en agosto de 2010.

En este Manual se propone una metodología para la evaluación económica de proyectos de transporte en general, con objeto de identificar y cuantificar la contribución de un proyecto al bienestar de la sociedad. En este documento se desarrolla fundamentalmente la perspectiva de la rentabilidad económica (social), mencionando al inicio del mismo algunos aspectos generales relacionados con la rentabilidad financiera.

A la vista de estas publicaciones, en las que se desarrollan metodologías generales para el desarrollo de análisis coste beneficio en proyectos de transporte, se toman como referencia para establecer los contenidos mínimos de un Estudio de Rentabilidad de un Estudio Informativo o Anteproyecto de una carretera el Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte y Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, dado que:

1. Representan las metodologías más novedosas en materia de Evaluación de económica de proyectos.
2. Están publicadas por organismos públicos a nivel nacional y europeo.
3. Presentan una metodología clara y perfectamente ordenada de los procesos de evaluación económica.



4. En el caso de Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, permitiría compatibilizar el Estudio de Rentabilidad de un Estudio Informativo o Anteproyecto al de un Análisis Coste – Beneficio en el marco de solicitud de co-financiación a través de fondos estructurales.

La metodología base resultante de la combinación de ambas publicaciones, se complementará con propuestas concretas para la formulación, valores de referencia y criterios de decisión basadas en otros documentos de referencia como se explicará a continuación. De este modo se logrará crear un marco metodológico y de apoyo a la Dirección de Estudio con dos objetivos fundamentales:

1. Homogeneizar los Estudios de Rentabilidad.
2. Disponer de herramientas actualizadas para la realización de este tipo de estudios.

A continuación se detallan las etapas de las que debe constar, como mínimo un Estudio de Rentabilidad:

4.1. Diagnóstico inicial

Esta definición tendrá por objetivo identificar los problemas actuales en la red de carreteras incluida en la zona de estudio con objeto de valorar el impacto positivo que la nueva actuación supondrá en ésta. Para ello deben efectuarse dos diagnósticos:

1. Situación inicial, identificando problemas de capacidad, seguridad, accesibilidad...etc que serán objeto de mejora tras la implementación de la nueva vía. Representa por tanto, el escenario base sobre el que se llevará a cabo la comparación tras la puesta en servicio de la nueva infraestructura.
2. Alternativas a plantear, donde desde un punto de vista multidisciplinar se definirán las opciones diseñadas en el Estudio Informativo o Anteproyecto y valorará la repercusión que generarán en cada caso sobre la situación inicial. Es fundamental que las alternativas que se propongan incluyan todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, como por ejemplo pudiera ser un ramal de conexión con otra vía.

4.2. Estudio de Tráfico

Esta etapa es básica para la evaluación económica del proyecto, dado que representa una nueva distribución de los usuarios de la red tras la implementación de algunas de las alternativas



en estudio. Para ello se tomarán como datos de partida los resultados obtenidos en el Estudio de Tráfico correspondiente, en el que deberá haberse establecido la demanda de la nueva infraestructura, su composición, distribución horaria, crecimiento y velocidad de circulación.

Los aspectos a tener en esta etapa que determinan la evaluación económica de la nueva infraestructura son:

4.2.1. Captación de otros corredores

La captación de tráfico de otros corredores viarios que resultan competitivos supone una disminución de la rentabilidad del corredor objeto de estudio principalmente por la disminución de la demanda prevista. Este efecto tendrá mayor o menor incidencia según el plazo transcurrido desde la puesta en servicio de las infraestructuras viarias captadoras de este tráfico. De este modo, una infraestructura que se encuentra en los últimos años del periodo de vida útil para la que fue diseñada sufrirá una menor incidencia en su rentabilidad que otra cuya puesta en servicio haya sido reciente. Este aspecto deberá ser objeto de análisis en el Estudio de Rentabilidad.

4.2.2. Tráfico inducido

El tráfico inducido es consecuencia de las características que posea la demanda potencial para ser persuadida de utilizar un determinado modo de transporte. Las consecuencias del tráfico inducido son importantes en tres aspectos:

- Desde el punto de vista de una valoración operativa, la actuación que se va a realizar en el sistema de transporte ha de ser diseñada para ser sensible a la adición del tráfico inducido y los modelos de demanda tendrán, de alguna manera, que reflejarlo.
- Desde una óptica de valoración medioambiental, el tráfico inducido afectará al balance de daños medioambientales y es conveniente cuantificarlo.
- La valoración económica, será sensible, en la estimación de costes y beneficios, a la existencia del tráfico inducido.

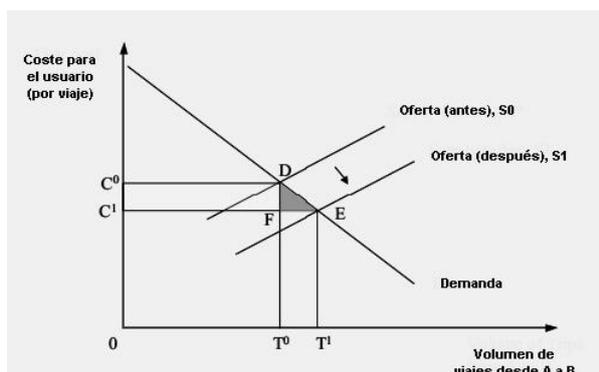
Suele ser difícil estimar el beneficio obtenido por un nuevo viajero entre dos zonas A y B, puesto que no se conoce el coste anterior de dicho viajero. Si es un viajero reasignado o transferido modalmente realizaba un gasto en transporte antes; si es un viajero nuevo no realizaba gasto en transporte alguno.

La solución que se propone es admitir que estos nuevos viajes se benefician en una cantidad equivalente a la mitad de la reducción de coste de los antiguos usuarios, se conoce como “regla de la mitad”:

$$\text{Beneficio de los antiguos viajes} = (C_0 - C_1) \times T_0$$

$$\text{Beneficio de los nuevos viajes} = 0,5 \times (C_0 - C_1) \times (T_0 - T_1).$$

$$\text{Beneficio total} = 0,5 \times (C_0 - C_1) \cdot (T_0 + T_1).$$



Fuente: *Treatment of induced traffic. Transport Note No. TRN-11. The World Bank. Washington. D.C.. Enero 2005*

4.2.3. Crecimiento considerado durante los años del periodo de análisis

Dado que la elección de la tasa de crecimiento del tráfico suele ser uno de los aspectos que más influencia genera sobre los resultados de la evaluación económica, resulta fundamental efectuar un análisis profundo de esta tasa.

La evolución de la demanda a lo largo del periodo de análisis depende esencialmente del comportamiento de los costes generalizados y de los factores socioeconómicos y demográficos que la determinan.

Es habitual que los modelos econométricos de demanda constituyan la metodología adecuada para esta predicción. En estos modelos se incorporan las variables relacionadas con el entorno socio-económico y demográfico-población, empleo, PIB o volumen de comercio exterior. Es posible, no obstante, que en determinados contextos la demanda de transporte dependa sólo de su trayectoria pasada. Si ello es así, un simple modelo tendencial permite hallar la tasa de crecimiento del tráfico a lo largo del tiempo. Con este segundo método supone que el



comportamiento pasado continuará en el futuro, supuesto que puede resultar excesivamente ingenuo.

Tras la obtención de la tasa de crecimiento a partir del modelo elegido, se propone efectuar una comparación con la Orden FOM/3317/2010, Instrucción para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento, o cualquier otra referencia en la que se establezcan tasas de crecimiento previstas en la red de carreteras nacional.

Incrementos de tráfico a utilizar en estudios

Período	Incremento anual acumulativo
2010 – 2012	1,08 %
2013 – 2016	1,12 %
2017 en adelante	1,44 %

Fuente: Orden FOM/3317/2010. Año 2010.

4.2.4. Curvas Intensidad – Velocidad

Con objeto de conocer la velocidad real en la red, se requiere de las curvas Intensidad – Velocidad obtenidas de los modelos utilizados en el Estudio de Tráfico del Estudio Informativo o Anteproyecto. Estas curvas van asociadas al tipo de vía y permiten determinar según la intensidad de tráfico prevista en un determinado rango horario, la velocidad de circulación de los distintos tipos de vehículos (ligeros y pesados).

La velocidad media de circulación se calculará atendiendo a distribución horaria de un día medio y a la curva Intensidad – Velocidad.

4.2.5. Análisis de sensibilidad

Los errores en la predicción de la demanda pueden tener consecuencias graves en la evaluación de los estudios de rentabilidad. Una predicción excesivamente optimista dará lugar a capacidad excedentaria, mientras que si la demanda real supera la predicha aparecerán problemas de congestión. Dado que la incertidumbre es, al menos parcialmente, inevitable, es necesario buscar métodos que permitan incorporarla en la evaluación del proyecto. La forma con la que se propone tratar la incertidumbre es presentar estimaciones alternativas bajo distintos escenarios para las variables explicativas de la demanda.



Como se indicará en el análisis de riesgos, la predicción de la demanda será una de las variables críticas que habitualmente deben ser objeto de un análisis de sensibilidad para determinar su incidencia en la rentabilidad de la actuación.

4.3. Evaluación económica

Esta etapa representa el núcleo central del Estudio de Rentabilidad, en el cual se obtienen los indicadores de rentabilidad a partir de la cuantificación de los costes y beneficios sociales.

Como se ha indicado con anterioridad, la evaluación económica valora los beneficios y costes que la nueva infraestructura genera en la sociedad.

A continuación se muestra los conceptos fundamentales y metodología a aplicar para efectuar la evaluación económica.

4.3.1. Cálculo de beneficios y costes sociales

En este apartado se propone la metodología para la cuantificación del beneficio y coste social derivado de la puesta en marcha de la nueva infraestructura.

Para ello se expone a continuación la metodología para su obtención, desarrollada en las publicaciones de referencia. En primer lugar se definirán los agentes que se verán afectados por la nueva actuación y a continuación se expondrán los dos métodos para el cálculo de los beneficios.

4.3.1.1. Los agentes afectados

Es muy importante conocer los agentes que se verán afectados por la nueva actuación, lo cual permitirá desagregar los beneficios y costes para cada uno de ellos. Estos agentes son:

- Los usuarios de los servicios e infraestructuras de transporte, se corresponden con los consumidores de dichos servicios e infraestructuras.
- Los productores de servicios e infraestructuras de transporte, está representadas por empresas públicas o privadas que ponen a disposición de los usuarios los servicios o infraestructuras.
- Los contribuyentes, en los casos en los que se el proyecto produzca modificaciones de impuestos y subvenciones que alteren el saldo fiscal.
- El resto de la sociedad, en el que incluirían los efectos externos no internalizados.



4.3.1.2. Métodos para el cálculo de los beneficios sociales

Para la cuantificación de los beneficios sociales pueden aplicarse dos métodos o enfoques:

- Enfoque de los recursos productivos, cuyo objetivo es la medición de los cambios netos en la utilización de los recursos productivos aportados por la sociedad y en la disposición a pagar de los usuarios.
- Enfoque del cambio de los excedentes de los diferentes agentes sociales como consecuencia del proyecto. Con este enfoque es posible conocer quién gana y quién pierde con el proyecto, lo cual posibilita anticipar el grado de aceptación o rechazo que éste tendría.

El segundo de los enfoques es el aplicado por la “Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects”, aportando como principal ventaja el conocimiento de los agentes que ganan y pierden con el proyecto, lo cual posibilita efectuar consideraciones sobre la equidad y también sobre la financiación del proyecto.

Se propone, por tanto, la utilización de este segundo enfoque para la cuantificación de los beneficios sociales.

4.3.1.3. Cuantificación y valoración del cambio del beneficio social

Siguiendo el enfoque del cambio de los excedentes explicado en el apartado anterior, se indica la formulación que permitirá obtener el cambio en el bienestar social. Esta formulación se extrae del Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte y responde a la siguiente expresión general:

$$\Delta BS = \Delta EC + \Delta EP + \Delta EG + \Delta ERS$$

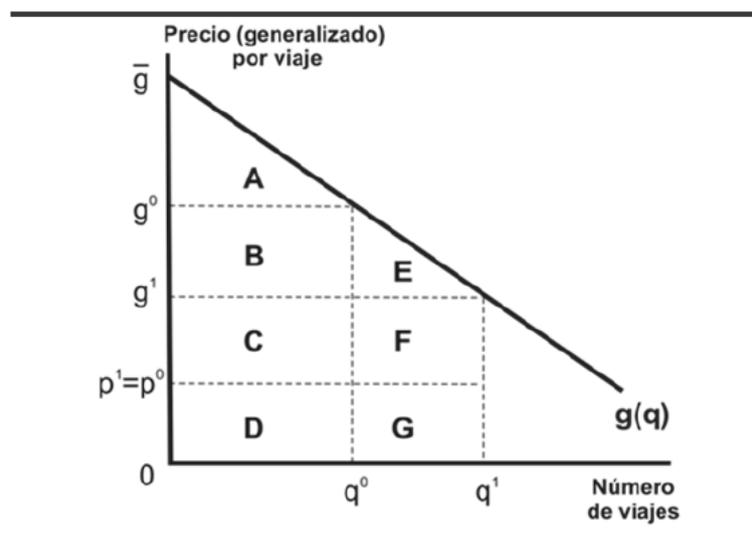
donde,

- ΔBS = cambio en el bienestar social
- ΔEC = cambio en el excedente de los usuarios
- ΔEP = cambio en el excedente de los productores
- ΔEG = cambio en el excedente de los contribuyentes
- ΔERS = cambio en el excedente del resto de la sociedad

Para la obtención de cada uno de los excedentes, se aplica la siguiente formulación basada fundamentalmente en el nuevo equilibrio generado en el sistema de transporte tras la implementación de la nueva infraestructura.

En la siguiente imagen se ilustra la relación entre número de viajes según el precio generalizado del viaje, y por tanto cuales son los puntos de equilibrio en el escenario base (q^0, g^0) y escenario con la nueva infraestructura (q^1, g^1), donde q representan los viajes y g el precio generalizado por viaje.

Figura 4.1: Precio generalizado y disposición a pagar



Fuente: Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte. CEDEX. Año 2010.

La formulación propuesta para la obtención de los diferentes cambios de excedentes es la siguiente:

$$\Delta EP = (p^1 q^1 - p^0 q^0) - (C^1 - C^0)$$

Donde,

- C representan los costes para los productores, fundamentalmente costes de inversión y de operación y mantenimiento.
- p , representa el peaje

$$\Delta EC = \frac{1}{2} (g^0 - g^1) (q^0 + q^1)$$



Conocida como regla de la mitad, y se corresponde las áreas E, F y G del gráfico anterior, o lo que es lo mismo la disposición a pagar de los nuevos usuarios.

Para determinar el precio generalizado del viaje se tomará la siguiente expresión:

$g = p + z + v\tau$, donde

- p = peaje
- z = costes de funcionamiento de los vehículos
- $v\tau$ = coste del tiempo

$$\Delta EG = \xi^1 q^1 - \xi^0 q^0$$

Donde ξq , representa la recaudación fiscal, neta de subvenciones.

$$\Delta ERS = - (E^1 - E^0)$$

Donde E representa el coste de la externalidad.

Bajo el supuesto de suprimir los efectos indirectos que pueda generar la nueva actuación, esto es que la diferencia entre el precio y coste marginal en otros mercados sea nulo, el cambio del beneficio social quedaría determinado por la siguiente expresión:

$$\Delta BS = \frac{1}{2} (g^0 - g^1) (q^0 + q^1) + (p^1 q^1 - p^0 q^0) - (C^1 - C^0) + (\xi^1 q^1 - \xi^0 q^0) - (E^1 - E^0)$$

A continuación se representan propuestas para la determinación de los costes que intervienen en la formulación anterior.

4.3.1.3.1. Costes para los productores

Se componen de costes de inversión y de mantenimiento y operación, proponiéndose a continuación referencias para su obtención.

Siguiendo las indicaciones de las metodologías de referencia, en los costes para los productores debe diferenciarse entre mano de obra, materiales, energía y gastos generales, aplicando a cada uno un factor que contemple el coste de oportunidad, como por ejemplo el salario sombra, o a lo que renuncia la sociedad por trabajar para el proyecto. En la siguiente tabla extraída de la publicación “Estimación de los costes del productor y del usuario en la evaluación de proyectos de transporte”, correspondiente a los estudios de Del Bo et al (2009), se muestran los factores



de corrección para la obtención del salario sombra en las distintas Comunidades Autónomas españolas:

Tabla 1: Factores de corrección para obtención del salario sombra. Comunidades Autónomas españolas

Comunidad Autónoma	Factor de corrección
Andalucía	0,836575
Aragón	0,953
Canarias	0,9446
Cantabria	0,949
Castilla- La Mancha	0,9203
Castilla León	0,9421
Cataluña	0,9619
Comunidad de Madrid	0,9694
Comunidad Valenciana	0,9433
Extremadura	0,794158
Galicia	0,9335
Islas Baleares	0,9594
La Rioja	0,9476
Navarra	0,963
País Vasco	0,9674
Principado de Asturias	0,847244
Región de Murcia	0,9307

Fuente: Estimación de los costes del productor y del usuario en la evaluación de proyectos de transporte. CEDEX. Año 2009.

4.3.1.3.1.1. Costes de inversión

Los costes de inversión se subdividirán en cuatro categorías:

4.3.1.3.1.1.1. Coste de diseño y dirección

Corresponden fundamentalmente a los proyectos y asistencia técnica necesarios para la realización de la nueva infraestructura.

Para su cálculo se tendrán en cuenta los ratios procedentes de las últimas licitaciones de Estudios, Proyectos y Direcciones de Obra.

A priori puede estimarse en:

- Redacción Proyecto Constructivo: **2,00%** sobre presupuesto de licitación (sin IVA)
- Asistencia técnica a la Dirección de Obra: **1,75%** sobre presupuesto de licitación (sin IVA)



Se propone que la inversión para la realización del Proyecto Constructivo se aplique equitativamente durante los dos años anteriores al inicio de la construcción. Respecto a la asistencia técnica para la Dirección de Obra, se propone una distribución del coste a lo largo del periodo de la construcción.

4.3.1.3.1.2.Coste de expropiación

Se aplicarán en el año de inicio de las obras, en base a la valoración realizada en el Estudio Informativo o Anteproyecto, que será realizada en base al uso de los terrenos y superficie ocupada por la nueva infraestructura.

4.3.1.3.1.3.Coste de construcción

Se calculará con el Presupuesto Base de Licitación, descontando el IVA repercutido, a la cual se afectará por un factor que incluya el efecto de la transferencia entre agentes (según se ha indicado al inicio del apartado Costes para los productores).

Este presupuesto procederá de la valoración económica efectuada en el anejo correspondiente del Estudio Informativo o Anteproyecto, que deberá estar en consonancia con los ratios que aparecen reflejados en la Orden FOM/3317/2010, el coste de ejecución material por kilómetro deberá adaptarse a los siguientes:

Autovías interurbanas de nuevo trazado. Coste de ejecución material (ME/km)

Tipo de terreno	Orografía llana		Orografía ondulada		Orografía accidentada o muy accidentada	
Tipo 1	2,00	3,00	3,00	5,00	5,00	8,00
Tipo 2	2,50	3,50	3,50	5,50	5,50	8,50

Tipos de terreno, según características geológico-geotécnicas:

Tipo 1: Sin riesgos geológico-geotécnicos aparentes.

Tipo 2: Con potenciales riesgos geológico-geotécnicos (suelos blandos, expansivos, colapsables, inestabilidades de ladera, macizos fuertemente tectonizados, afecciones hidrogeológicas...).

Fuente: Orden FOM/3317/2010. Año 2010

El coste de construcción deberá asignarse en el periodo de construcción que se estime para la nueva infraestructura en cuestión, aplicando una distribución coherente con el Plan de Obra, en el caso de que éste estuviese definido, o bien estableciendo un reparto en dicho periodo, siguiendo una distribución similar a la de otras actuaciones similares en aquellos casos en los que no se disponga de la planificación temporal de la Obra.



4.3.1.3.1.4. Coste de interrupción

Estos costes están asociados a las alteraciones que la construcción de la nueva infraestructura generaría a los usuarios del transporte así como a la sociedad en su conjunto en forma de ruidos, molestias, congestión, cambios provisionales de otros modos, etc. En concreto los desvíos provisionales generarían la mayoría de estos costes.

Estos costes se aplicarían durante el periodo de construcción de la nueva infraestructura y para su cuantificación podrían incluirse los siguientes elementos:

- Coste de la pérdida de tiempo derivada de la interrupción.
- Costes ambientales: fundamentalmente ruido.

4.3.1.3.2. Costes de operación y mantenimiento

Para cuantificar estos costes, deberá tenerse en cuenta la formulación propuesta en las Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, a las que habrá que aplicar los correspondientes factores de actualización o bien, y debidamente justificado podrá optarse por la utilización de publicaciones en las que se establecen escenarios de explotación según tipo de firme y categoría de pesados.

Respecto al mantenimiento, los ratios varían significativamente según las características de la vía, tráfico y ubicación. Para ello se obtendrá la información de la Subdirección General de Explotación y Gestión de Red.

4.3.1.4. Excedente de los usuarios

El excedente de los usuarios se corresponde con los costes percibidos por el usuario. Estos son:

- Coste del tiempo
- Combustible
- Peaje



4.3.1.4.1. Coste del tiempo

4.3.1.4.1.1. Aspectos generales

La valoración de los ahorros en tiempo de viaje representa un elemento clave para la evaluación de los proyectos de transportes, ya que representa uno de los principales beneficios que se derivan de una nueva infraestructura.

El tiempo de viaje puede considerarse uno de los principales determinantes de la rentabilidad de los proyectos de transporte, y habitualmente el ahorro que pueda originarse en estos tiempos supone el beneficio generado más importante.

El valor del tiempo varía claramente según el motivo de viaje. Es habitual considerar dos motivos: trabajo y ocio. Para el primero, un valor que se puede aproximar bastante a la percepción del usuario podría ser el precio de salario bruto por hora. Éste puede extraerse de las publicaciones anuales y trimestrales del Instituto Nacional de Estadística. (Índice de Coste Laboral Armonizado (ICLA), Encuesta Trimestral de Coste Laboral (ETCL), salario mínimo interprofesional (SMI)) o puede extraerse del proyecto europeo Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO) en el que asocia el coste del ahorro del tiempo en función del modo de transporte y motivo del viaje.

Para estimar el valor del tiempo por motivos de ocio, existen multitud de Estudios que establecen metodologías para la obtención del mismo en base a encuestas de usuarios (Transfer Price y Stated Preference). Todas ellas analizan la elasticidad de la demanda, relacionando coste y tiempo y maximizando la función de utilidad establecida. En líneas generales, el valor del tiempo de viaje por ocio resulta inferior al coste asociado al trabajo, situándose entre un 43%-75% del coste salarial, según algunos trabajos empíricos (Dogson y González, 1.996 y Dawson y Everall, 1972). Particularizando para el caso de España, habitualmente se utiliza el valor del tiempo de ocio estimado por Matas (1990), el cual efectuó una encuesta en Barcelona y diez municipios de su área metropolitana. En dicho Estudio, el valor del tiempo de ocio se situaba en torno al 45% del que correspondía al salario. Estos porcentajes se corresponden con la propuesta establecida en el proyecto europeo Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO), como se indicará a continuación.

4.3.1.4.1.2. Estimación

El valor del tiempo para los vehículos ligeros podría estimarse optando por la siguiente composición:



Valor tiempo vehículo ligero: $AxV_{\text{TRABAJO}} + BxV_{\text{OCIO}}$

Donde,

A= % motivo trabajo (incluye trabajo y estudios)

B=% motivo ocio (incluye ocio, compras, visitas, paseos, otros)

V_{TRABAJO} =Valor del tiempo por motivo de trabajo

V_{OCIO} =Valor del tiempo por motivo de ocio

Para la determinación de los porcentajes de reparto según motivo, se propone utilizar Estudios de Movilidad realizados en la Zona de Estudio o en su defecto los resultados de la Encuesta de movilidad de las personas residentes en España (Movilia).

A continuación se efectúa una estimación del valor del tiempo tomando como datos de partida los siguientes:

1. Para la estimación de coste por hora de trabajos se propone la utilización del proyecto europeo HEATCO, en el cual se valora el ahorro de tiempo para trabajo y ocio en función del modo de transporte. En la siguiente tabla se muestra esta información:

*Cuadro 6.2: Valor de los ahorros de tiempo en tiempo de trabajo en España para pasajeros **

	Avión		Autobús		Automóvil/Tren	
	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25
€ ₂₀₀₂ por hora	30,77	32,80	17,93	19,11	22,34	23,82
€ ₂₀₀₂ por hora ajustado por PPA	35,74	32,80	20,83	19,11	25,95	23,82

*A coste de factores.



Cuadro 6.3: Valor de los ahorros de tiempo en tiempo de ocio en España para pasajeros

	Commuter corta distancia						Commuter larga distancia					
	Avión		Autobús		Autom./Tren		Avión		Autobús		Autom./Tren	
	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25
€ ₂₀₀₂ por hora	12,72	12,65	6,12	6,10	8,52	8,48	16,33	16,25	7,87	7,83	10,94	10,89
€ ₂₀₀₂ por hora ajustado por PPA	14,77	12,65	7,11	6,10	9,90	8,48	18,96	16,25	9,14	7,83	12,71	10,89
	Otro corta distancia						Otro larga distancia					
	Avión		Autobús		Autom./Tren		Avión		Autobús		Autom./Tren	
	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25	España	UE 25
€ ₂₀₀₂ por hora	10,66	10,61	5,13	5,11	7,15	7,11	13,69	13,62	6,59	6,56	9,18	9,13
€ ₂₀₀₂ por hora ajustado por PPA	12,38	10,61	5,96	5,11	8,30	7,11	15,90	13,62	7,66	6,56	10,66	9,13

* A coste de los factores.

Fuente: Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte (basado en proyecto HEATCO). CEDEX. Año 2010.

Actualizando el valor a euros de 2013, se obtiene un valor del ahorro del tiempo de trabajo para el automóvil (ajustado por la Paridad del Poder Adquisitivo (PPA) en $25,95 \text{ €/h} \times 1,36$ (variación del IPC publicado por el INE desde enero 2002 a diciembre de 2013) = $35,29 \text{ €/h}$. De forma análoga se valora el ahorro del tiempo para ocio. Como precio de referencia se propone la media entre commuters (personas que efectúan viajes diarios) y otros viajes. De este modo para corta distancia se obtiene $9,10 \text{ €/h}$ y $11,69 \text{ €/h}$ (€ 2002 ajustados por PPA). El coste a considerar debería calcularse según la proporción de los viajes de larga y corta distancia. Como referencia se propone utilizar un reparto 60% (corta distancia) - 40% (larga distancia). De este modo resulta un coste actualizado a euros de 2013 de $13,78 \text{ €/h}$.

- El reparto según motivo de viaje se extrae de la Encuesta Movilia 2006-2007, en la que se indica que el **43%** de los viajes se deben a motivo de trabajo/estudio en día laborable.

Con todo ello, podría hacerse la siguiente aproximación del valor del tiempo para un vehículo ligero: $0,43 \times 35,29 + 0,57 \times 13,78 = \mathbf{23,03 \text{ €/h (año 2013)}}$



Respecto al coste del tiempo para los vehículos pesados, en el mismo proyecto HEATCO, se muestra el precio por hora y tonelada de carga transportada:

*Cuadro 6.4: Valor de los ahorros de tiempo en España para mercancías **

	Carretera		Ferrocarril	
	España	UE 25	España	UE 25
€₂₀₀₂ por hora y tonelada	2,84	2,98	1,17	1,22
€₂₀₀₂ por hora y tonelada ajustado por PPA	3,30	2,98	1,36	1,22

* A coste de factores.

Fuente: Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte (basado en proyecto HEATCO). CEDEX. Año 2010.

En base a la tabla anterior puede establecerse un coste de 3,30 €/h, que representan 4,49 €/h en euros de 2013.

Para determinar la carga media de los vehículos pesados, se tomarán datos ofrecidos por el Observatorio del Transporte de Mercancías por Carretera en su publicación "Oferta y demanda. Enero de 2014". En este documento se indica que para el último año registrado (2012), se transportaron por carretera 1.239.140.000 toneladas con un recorrido medio de 161 km (véase la siguiente tabla extraída de dicho documento)



TRANSPORTE POR CARRETERA REALIZADO POR VEHÍCULOS PESADOS ESPAÑOLES

	Toneladas		Toneladas-Kilómetro		Recorrido medio (km)
	(miles)	(% Incremento sobre el año anterior)	(millones)	(% Incremento sobre el año anterior)	
1993	576.090		92.171		160
1994	614.320	6,6%	97.846	6,2%	159
1995	609.213	-0,8%	101.874	4,1%	167
1996	589.752	-3,2%	102.167	0,3%	173
1997	628.913	6,6%	109.840	7,5%	175
1998	719.337	14,4%	125.268	14,0%	174
1999	827.058	15,0%	134.259	7,2%	162
2000	945.444	14,3%	148.714	10,8%	157
2001	1.048.293	10,9%	161.042	8,3%	154
2002	1.760.534	67,9%	184.545	14,6%	105
2003	1.850.099	5,1%	192.587	4,4%	104
2004	2.012.726	8,8%	220.816	14,7%	110
2005	2.210.644	9,8%	233.219	5,6%	105
2006	2.387.526	8,0%	241.758	3,7%	101
2007	2.408.978	0,9%	258.870	7,1%	107
2008	2.120.494	-12,0%	242.978	-6,1%	115
2009	1.711.314	-19,3%	211.891	-12,8%	124
2010	1.566.705	-8,5%	210.064	-0,9%	134
2011	1.466.502	-6,4%	206.840	-1,5%	141
2012	1.239.140	-15,5%	199.205	-3,7%	161

Fuente: Observatorio del Transporte de Mercancías por Carretera. Oferta y demanda. Ministerio de Fomento. Año 2014.

En el año 2012 los vehículos pesados autorizados para transporte de mercancías ascendía a 339.157 vh (julio de 2012). Considerando que un vehículo pesado recorre anualmente 90.000 km el 85% en carga (fuente: Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera), sería posible determinar la carga media por expedición:

$$C_{media} = \frac{\text{Toneladas transportadas} \times \text{Distancia media recorrida}}{\text{Kilómetros anuales en carga} \times \text{N}^\circ \text{ Vehículos}}$$

La carga media calculada ascendería a 7,69 t, por lo que el coste horario ascendería a **34,53 €/h**.

4.3.1.4.2. Peaje

Se sumará al coste para el usuario, incluyendo los impuestos asociados y distinguiendo entre vehículos pesados y ligeros.



4.3.1.4.3. Combustible

Para la valoración de este consumo se cuenta con diversas formulaciones que relacionan la velocidad con el consumo, y la pendiente media del trazado.

Dado que este coste puede presentar una fuerte dispersión debido a la composición del parque de vehículos (cada vez más eficientes), deberá establecerse un consumo medio fijo para el año de puesta en servicio, consumo que se verá corregido a la baja a lo largo de los años siguientes (el parque de vehículos tiende a concentrar más vehículos eficientes y la UE obliga a los nuevos vehículos a cumplir unos rangos de emisiones más restrictivos).

Para determinar el consumo según la velocidad de circulación, podrá utilizarse la formulación mostrada en las Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras publicados por el Ministerio de Fomento, o bien alguna de las siguientes:

- Procedente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE):

$$C_{\text{Combustible}} = C_{60 \text{ km/h}} * P_{\text{Neto (Combustible)}} * \left(0,804 + \frac{12,66}{v} \right)$$

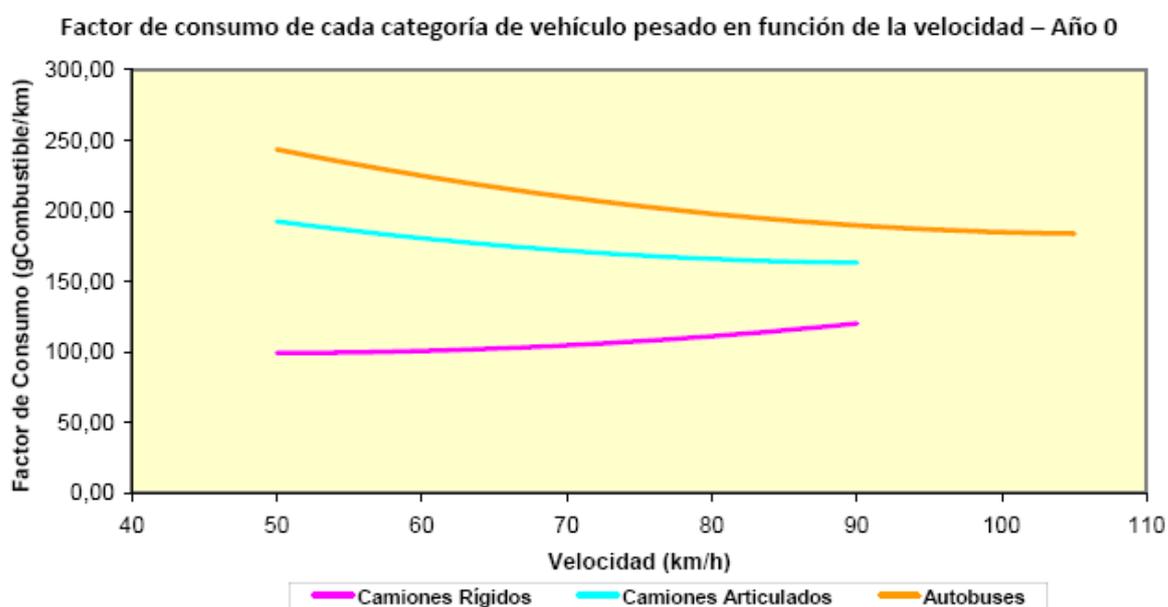
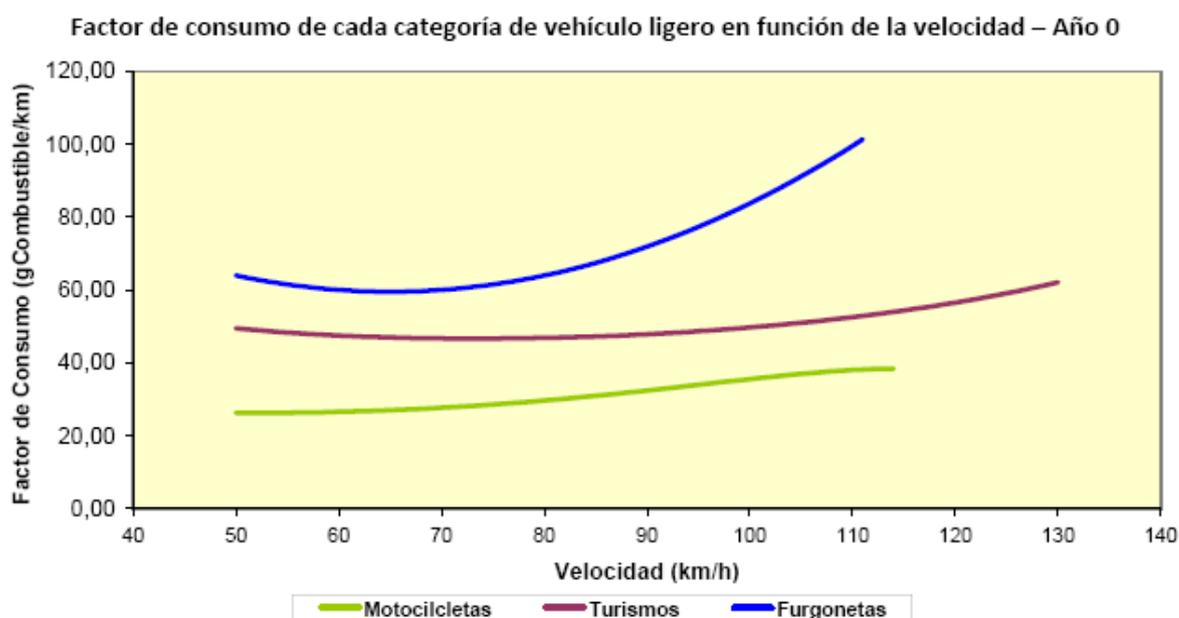
Fuente: OCDE, Francia. Año 1990.

donde,

- C60 km/h es el consumo para una velocidad de 60 km/h (l/km). Se indica como valor de referencia 5,5 l/100 km en el supuesto de turismos con clasificación energética A o B (Berlinas Familiares Medios) – Fuente IDAE. Para vehículos pesados este consumo aumenta hasta los 30-35 l/100 km.
 - V es la velocidad
 - Pneto es el precio del combustible sin impuestos (€/l). Este valor asciende a 0,74 €/l de gasóleo y 0,686 €/l de la gasolina sin plomo para Noviembre de 2013 (Fuente: Precios de Carburantes y Combustibles publicados por el Ministerio de Industria)
- Mediante la aplicación de la metodología propuesta por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en su publicación “Herramienta CO2TA



para la evaluación de las emisiones de CO₂ del tráfico por carretera”, en la cual se hace uso de los factores de consumo en el modelo COPERT IV donde se estiman los factores de consumos en función del tipo de vehículo y la velocidad de circulación. A continuación se muestran las gráficas obtenidas del modelo indicado para el año 2011:



Fuente: Herramienta CO₂TA para la evaluación de las emisiones de CO₂ del tráfico por carretera. CEDEX Febrero 2013.



La formulación propuesta para el cálculo del consumo de combustible responde a la siguiente expresión:

$$C_i \text{ (t/año o kWh/año)} = \sum FC_i \times IMD_{ij} \text{ (veh/día)} \times L_j \text{ (km)} \times 365 \text{ días}$$

Donde,

C_i = Consumo anual de combustible o de electricidad de la categoría de vehículo i , expresado en t/año o kWh/año, según el caso.

FC_i = Factor de consumo de cada vehículo de la categoría i , expresado en kWh/km o gramos de combustible/km, según el caso.

IMD_{ij} = Intensidad media diaria de la categoría de vehículo i en la alineación j .

L_j = Longitud recorrida por el vehículo en la alineación j , en km.

Según se expone en esta misma metodología, al consumo obtenido con la formulación anterior deberá aplicarse un factor de corrección por la pendiente de la carretera.

4.3.1.5. Excedente de los productores

Corresponden con los costes no percibidos por el usuario y están asociados a los consumos de lubricante, desgaste de neumáticos, mantenimiento y amortización del vehículo, estos dos últimos excluyendo la parte no imputable a la distancia. A continuación se indica la metodología a seguir para obtener estos costes.

4.3.1.5.1. Coste de mantenimiento

El coste de mantenimiento corresponderá al coste de sustitución de piezas del vehículo, tanto material como mano de obra debido al desgaste generado por la distancia recorrida.

Como referencia, puede usarse las indicaciones que se muestran en el Highway Design Model (HDMGlobal, 2005). En esta guía, el coste de las piezas y mano de obra se modelan secuencialmente. Por un lado el coste de las piezas se modelan como una proporción del precio del vehículo nuevo, mientras que los costes de mantenimiento se basan parcialmente en el consumo de las piezas de repuesto. Los costos de reparaciones y mantenimiento se ven afectados por la distancia recorrida, así como las condiciones de la vía. En este modelo se utiliza formulaciones independientes atendiendo al tipo de vehículo. Estos parámetros se refieren a la clasificación de la flota vehicular del país, región o ciudad evaluada y la definición de parámetros como costos de vehículo nuevo, combustible, partes, mantenimiento, gastos administrativos, kilómetros recorridos, horas trabajadas, vida útil del vehículo, peso operativo, factores de regresión por tipo de vehículo relacionados con las restricciones por velocidad, etc.



4.3.1.5.2. Coste de amortización del vehículo

Para cuantificar este coste, así como el resto de costes de funcionamiento del vehículo (combustible, lubricante, neumático) podrá optarse por la formulación propuesta en las Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, a las que habrá que aplicar los correspondientes factores de actualización de precios, o bien por otras formulaciones en las que se relacione el valor del vehículo tipo según los kilómetros realizados, sin incluir la parte no imputable a la distancia, que se considera fija y por tanto no debe computarse en el análisis.

Se propone como referencia los siguientes ratios para estimar la amortización por kilómetro de los diferentes tipos de vehículo:

Turismos:

$$C_{\text{amort}} = \frac{\text{Precio adquisición}}{\text{Kilómetros vida útil}}$$

- C_{amort} = Coste amortización del vehículo/km
- Precio adquisición = Precio medio de adquisición de vehículo. Se estima en 15.000 €.
- Kilómetros vida útil = Se puede tomar como referencia 300.000 km (20.000 km anuales para una vida media de 15 años, según la publicación “Análisis ambiental del proceso de fin de vida de vehículos en España – Grupo de Ingeniería del Diseño - Universidad Jaume I”)

Aplicando la fórmula anterior, se obtiene un coste de amortización imputable a la distancia recorrida de **0,05 €/km**.

Pesados

En caso de vehículos pesados se toma como referencia el “Estudio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera.” Octubre de 2008, realizado por la consultora Spim para el Ministerio de Fomento. En este documento se analiza la estructura de costes de diferentes tipologías de vehículos pesados, obteniendo como resultado un coste promedio por kilómetro.

Tomando como referencia un vehículo rígido de 3 ejes de carga general, el coste directo unitario asciende a 0,48 €/km (actualizado a euros de 2013) de los cuales el 11% representan costes de



amortización. Por tanto el coste por kilómetro derivado de la amortización del vehículo supone **0,053 €/km**.

4.3.1.5.3. Lubricante

Al igual que en el cálculo del consumo de combustible, podrá emplearse la formulación de las Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, la de la OCDE o la metodología COPERT IV, bajo el supuesto que el consumo de lubricante es directamente proporcional al de combustible.

	Factor consumo lubricante	
	Ligeros	Pesados
Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras	0.012	0.008
OCDE	0.014	0.014
COPERT IV	-	-

Fuente: Elaboración propia

Como referencia, puede establecerse un coste de lubricante, sin incluir impuestos de **5,27 €** (para el año 2.013).

4.3.1.5.4. Desgaste de neumático

Se distinguirá entre vehículo ligero y pesado, estableciéndose un coste para la reposición de los neumáticos acorde al mercado. Será válida la formulación de las Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, así como la de la OCDE:

$$C_{\text{Neumáticos}} = \frac{P_{\text{Neto(Neumático)}}}{\text{vida útil}} * \left(0,604 + \frac{12,65}{v} \right)$$

Fuente: OCDE, Francia. Año 1990.

Donde

$P_{\text{neto (neumático)}}$ es el precio del neumático sin impuestos (€/juego)
 V es la velocidad



Como referencia se proponen los siguientes valores extraídos de Estudios y Publicaciones relacionados con la cuantificación de los costes del transporte:

Tipo de vehículo	Vida Útil (km)	Precio s/impuestos
Ligero	45,000(*)	231 € (**)
Pesado (***)	150,000	4,515 €

(*) Fuente: Estudio interno Michelin

(**) Fuente: Precios de mercado Diciembre 2013, neumático tipo: 175/55 R15

(***) Fuente: Estudio de costes del transporte de mercancías por carretera. Ministerio de Fomento

4.3.1.6. Excedente de los contribuyentes

Este excedente viene dado por la diferencia entre los ingresos que se obtienen mediante la recaudación de impuestos y los gastos que realiza el pago de subvenciones.

4.3.1.7. Excedente del resto de la sociedad. Externalidades

Los costes de las externalidades asociadas a la nueva infraestructura se originan fundamentalmente por el coste de los accidentes (muertos y heridos), así como los costes ambientales.

A continuación se identifican y se propone una cuantificación para la estimación de estas externalidades:

4.3.1.7.1. Seguridad Viaria (accidentes)

Uno de los beneficios que representa una nueva infraestructura es la mejora de la seguridad viaria respecto a la situación actual. Esto supone una disminución de los costes derivados de los accidentes producidos y por tanto de un beneficio para la sociedad a lo largo de toda la vida útil considerada.

Como formulación para el coste anual de la accidentalidad se propone la siguiente expresión:

$$C_{acc} = IP \cdot IMD \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot C_{agr} \cdot L$$

Donde:

- C_{acc} =Coste anual de accidentalidad
- IP=Índice de Peligrosidad de la vía a analizar



- IMD=Intensidad Media Diaria
- Cagr=Coste agregado de los accidentes en función del tipo de vía
- L = Longitud del tramo a analizar

Si el Estudio Informativo se somete al procedimiento para la gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias en la Red de Carreteras del Estado deberán seguirse las Directrices del procedimiento para la realización de evaluaciones de impacto de las infraestructuras viarias en la seguridad en la Red de Carreteras del Estado aprobadas por la Orden Circular 30/2012 de 20 de junio. En dichas directrices se detallan los aspectos a analizar y se establece el contenido del informe preceptivo que deberá facilitar la información necesaria para realizar el análisis coste-beneficio de las distintas opciones examinadas.

4.3.1.7.1.1. Índices de Peligrosidad

Para filtrar los efectos aleatorios de la siniestralidad, se recomienda que el índice de peligrosidad de la situación actual considere los accidentes con víctimas y el tráfico acumulado de los últimos 5 años de los que se dispongan datos. Por ello deben consultarse las estadísticas de la propia Dirección General de Carreteras que se publican en el apartado de carreteras de la página web del Ministerio de Fomento. En cualquier caso, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento dispone de un inventario específico de seguridad vial a través del cual es posible conocer directamente, previa consulta a la Unidad que lo gestiona, el índice de peligrosidad más actualizado disponible del tramo de la Red de Carreteras del Estado que se quiera analizar.

Por su parte, la estimación del índice de peligrosidad de cada alternativa de trazado deberá realizarse sobre la base de los resultados esperados en función del trazado y resto del diseño teniendo en cuenta también los datos históricos de la Red de Carreteras del Estado para el tipo de vía en cuestión. En este sentido, deben servir siempre de referencia las Directrices del procedimiento para la realización de evaluaciones de impacto de las infraestructuras viarias en la seguridad en la Red de Carreteras del Estado aprobadas por la Orden Circular 30/2012, de 20 de junio.

4.3.1.7.1.2. Coste agregado de los accidentes en función del tipo de vía

Para la estimación del coste agregado de los accidentes deben contemplarse los últimos valores oficiales que publique la Dirección General de Tráfico de acuerdo con el artículo 22 del Real Decreto 345/2011, de 11 de marzo, sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias en la Red de Carreteras del Estado. En 2011 los valores oficiales eran 1.400.000 € al hecho de



evitar una víctima mortal, 219.000 € a prevenir un herido grave y 6.100 € un herido leve. Mientras no se dispongan de nuevos datos oficiales, se recomienda actualizar estas cifras en función de la evolución del PIB per cápita. No obstante, deberán utilizarse siempre los últimos datos oficiales publicados al respecto.

A partir del valor de prevenir un fallecido, un herido grave y un herido leve se calcula el coste agregado de los accidentes con el número de víctimas de cada tipo habido en la categoría de vía en cuestión. Estos datos pueden obtenerse a través de las estadísticas oficiales del Ministerio de Fomento, como la publicación titulada Análisis de la accidentalidad en la Red de Carreteras del Estado, disponibles vía web.

4.3.1.7.2. Costes Ambientales

Existen varios efectos negativos generados por la puesta en servicio de la nueva infraestructura sobre el medioambiente, entre los que cabe destacar la emisión de gases contaminantes, el impacto sonoro sobre el entorno, impacto paisajístico, etc...

Se recomienda la utilización de la metodología COPERT IV para la estimación de los contaminantes generados en el transporte por carretera, aunque podrán compararse con otras como son: HBEFA (Hanbook Emission Factors for Road Transport), modelo EnerTrans (Financiado por CEDEX y liderado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013, o la metodología implementada en la herramienta CO2TA para la evaluación de las emisiones de CO₂ del tráfico por carretera (CEDEX).

En esta última metodología se establece la siguiente formulación para obtener las emisiones anuales en función del consumo de carburante:

$$E_{CO_2} = 44.011 \frac{Q}{12.011 + 1.008r_{H/C}}$$

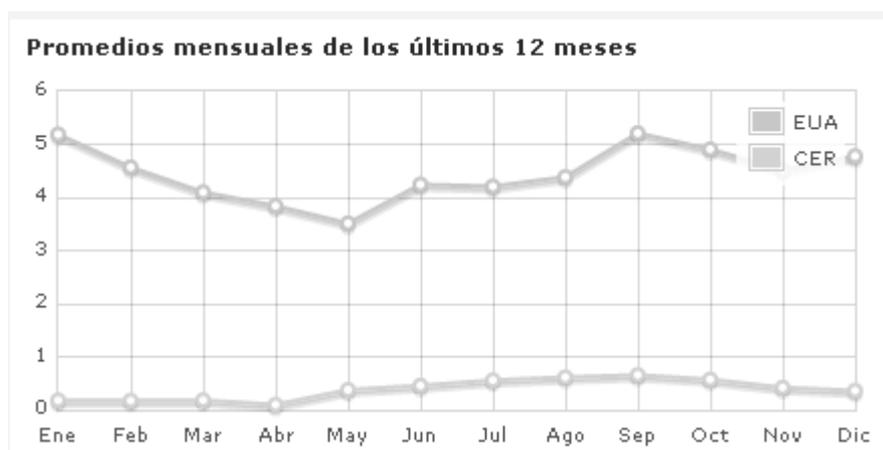
Donde,

- E_{CO_2} = Emisiones anuales de CO₂ (toneladas)
- Q = Consumo de carburante anual (toneladas)



- $r_{H/C}$ = relación entre número de átomos de hidrógeno y carbono del carburante (1,8 para gasolina, 2,0 para gasóleo. Se considera 1,96)

Por otro lado, para valorar el coste de las emisiones podrá consultarse los mercados de negociación de derechos de emisión, como por ejemplo SENDECO2 (Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono) en donde se establece el precio de la tonelada de CO₂. Para el mes de diciembre de 2013 el precio de la tonelada de CO₂ ascendía a **4,78 €** (véase gráfica adjunta extraída de www.sendeco2.com donde se representa el precio por tonelada durante el año 2013):



Fuente: Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono. www.sendeco2.com. Año 2013.

Con la obtención, por un lado, de las emisiones medias por kilómetro y el coste de estas emisiones en el mercado, será posible monetizar el coste de la contaminación atmosférica debida al parque de vehículos que se establezca para cada uno de los años considerados.

Con el objetivo de proporcionar un orden de magnitud, se indica el coste por emisión de CO₂/km partiendo de las siguientes hipótesis:

- Consumo promedio combustible (turismo para $v=100$ km/h) = 50 g/km
- Generación de CO₂ = 3,15 tn/tn carburante (aplicando formulación de la herramienta CO2TA)
- Precio tonelada CO₂ = 4,78 €

Se obtiene un coste de emisión CO₂ por km= **0,00075 €/km** en turismos.



Además del coste de las emisiones expuesto con anterioridad, existen otros efectos ambientales como el ruido, paisaje, contaminación del aire, suelo y agua y vibraciones. Su monetización, en general resulta compleja, aunque existen estudios como HEATCO o el desarrollado por Bickel et al. (2006) en los que se cuantifican algunos de estos efectos.

En relación al ruido, existen estimaciones en función del grado de molestia del mismo. Los valores que se muestran a continuación corresponden al proyecto europeo HEATCO y representa el coste para el año 2005 por persona molestada y año.

Tabla 4: Valores recomendados por HEATCO¹ (2006) para cada nivel de molestia causada por el ruido derivado del transporte por carretera y ferrocarril^{}*

	Carretera	Transporte ferroviario
Altamente molesto	85	59
Molesto	85	59
Poco Molesto	37	38
Nada molesto	0	0

^{*} Euros de 2005 por persona molestada y por año

Fuente: Valoraciones económicas de externalidades asociadas a proyectos de transporte (extraído de HEATCO). Raul Brey. Año 2009.

Respecto a la contaminación del aire y sus efectos sobre la salud, se propone la utilización de los costes extraídos del estudio realizado por Maibach et al. En este estudio se representa el coste por tonelada de cada contaminante según el entorno donde se ubique.



Tabla 7: Costes monetarios estimados de la contaminación del aire originada por el transporte por carretera, ferrocarril y vía fluvial para España*

	Fuente	Unidad	Entorno	Valor
NO _x	CAFE	Euros de 2000 (emisiones de 2010)		2.600
COVDM	CAFE	Euros de 2000 (emisiones de 2010)		400
SO ₂	CAFE	Euros de 2000 (emisiones de 2010)		4.300
PM _{2.5} (de combustión)	HEATCO	Euros de 2000	Urbano / Metropolitano**	299.600
	UBA transferido a HEATCO	Euros de 2000	Urbano***	96.400
	HEATCO/CAFE (para transporte fluvial)	Euros de 2000	Zonas no construidas	41.200
PM ₁₀ (no de combustión)	HEATCO	Euros de 2000	Urbano / Metropolitano**	119.900
	HEATCO****	Euros de 2000	Urbano***	38.600
	HEATCO	Euros de 2000	Zonas no construidas	16.500

* Euros de 2000 por tonelada de contaminante

** Urbano / Metropolitano: poblaciones con más de medio millón de habitantes

*** Urbano: poblaciones con menos de medio millón de habitantes.

**** Transferido a HEATCO en Maibach *et al.* (2008)

Fuente: Maibach *et al.* (2008)

Fuente: Valoraciones económicas de externalidades asociadas a proyectos de transporte. Raúl Brey. Año 2009.

Para obtener la cantidad de emisiones de cada partícula podrá utilizarse la EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 (apartado 1.A.3.b).

El resto de externalidades como el impacto sobre el paisaje, calidad del suelo y del agua, así como vibraciones son de difícil monetización, resultando difíciles de valorar en un estudio coste – beneficio. Son aspectos que estarán recogidas en el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental y en el Análisis Multicriterio asociados al Estudio Informativo o Anteproyecto.

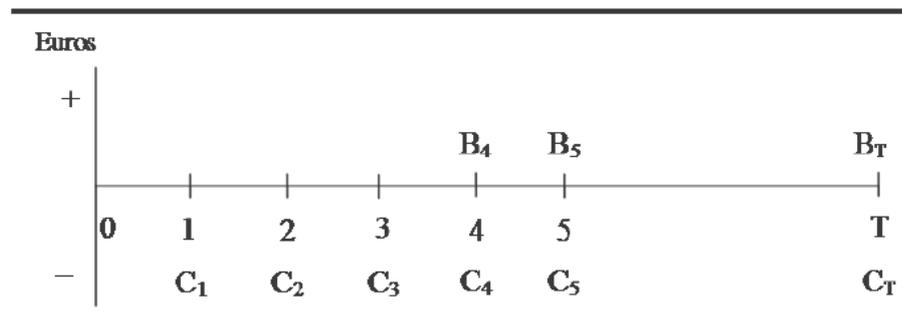
4.3.2. Determinación de indicadores

4.3.2.1. Flujos de caja

Para la evaluación económica, los beneficios y costes se representan como un flujo a lo largo de distintos momentos en el tiempo, identificando como $t=0$ al periodo en el que se produce la inversión inicial y como $t=T$, al último periodo en el que se manifiestan sus efectos (periodo de análisis). En la siguiente figura, extraída del Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte, se resume gráficamente el perfil temporal explicado:



Figura 3.1: Perfil temporal de un proyecto de transporte



Fuente: Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte. CEDEX. Año 2010.

La determinación tanto de los beneficios como de los costes sociales se obtendrá siempre por comparación con el escenario base, es decir, con respecto a la situación inicial.

$$B^{ij} = C^{0j} - C^{ij}$$

donde,

- B^{ij} representa el beneficio para la alternativa i en el año j .
- C^{0j} es el coste para el usuario en el escenario base (situación inicial) para el año j .
- C^{ij} es el coste para el usuario de la alternativa i para el año j .

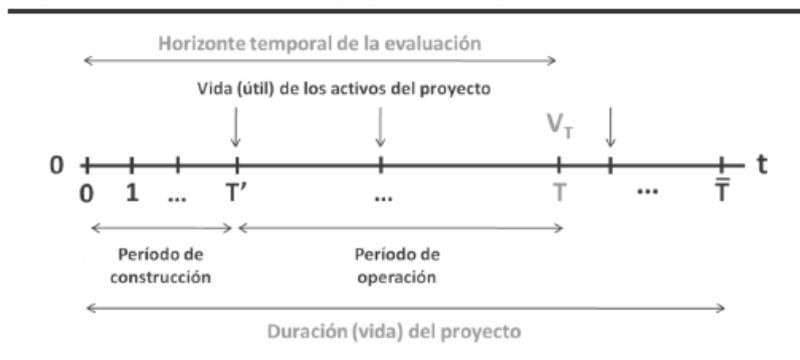
El flujo de costes y beneficios puede expresarse en términos nominales o reales, es decir, en precios constantes o corrientes teniendo en cuenta la inflación. Su consideración o no, no afecta a los resultados de la evaluación económica de un proyecto.

En cualquier caso, para la evaluación económica (social) se recomienda la utilización de precios constantes del año base, de modo que la tasa de descuento a utilizar debe ser la real.

4.3.2.2. Periodo de análisis y vida útil

El periodo de análisis, o también denominado horizonte de evaluación, representa el rango temporal en el que se efectúa la estimación de los flujos de caja y por tanto en el que se analiza la incidencia del proyecto sobre la sociedad. Es habitual que este horizonte es fijado exógenamente para el evaluador y este vinculado de forma indirecta con la vida útil de los activos del proyecto. Extender este periodo excesivamente puede originar problemas de información sobre las variables del estudio. En la siguiente figura se muestra gráficamente ambos conceptos:

Figura 5.1: El valor terminal de un proyecto de transporte



Fuente: *Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte*. CEDEX. Año 2010.

En cualquier caso, el horizonte de evaluación no debe superar al periodo de vida de la nueva infraestructura, como queda establecido en “Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects”. En esta misma publicación, se muestra una tabla con diferentes referencias temporales en función del tipo de proyecto. Para el caso de carreteras, se propone una referencia de 25 años, aunque en otras publicaciones se encuentran periodos de hasta 40 años. Por tanto se considera adecuado tomar un periodo de análisis entre los 25 a los 40 años.

Respecto a la vida útil de los activos que componen la carretera, en la publicación “Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO)”, se indican periodo de vida útil de los diferentes elementos que componen una carretera, como se muestra en la siguiente tabla:

Vida útil en años por componente de una carretera			
	Min	Media	Max
Explanada	30	45	60
Pavimento	10	20	30
Instalaciones ambientales	10	20	30
Drenaje	50	75	100
Cerramiento	50	75	100
Puentes	50	75	100
Tuneles	50	75	100
Terreno	Infinito	Infinito	Infinito

Fuente: *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO)*. Año 2006.



La elección de la vida útil, podría establecerse en base a la media de aquellos elementos de mayor duración, lo que supone considerar durante el periodo de análisis inversiones para la reposición de aquellos elementos de menor vida útil.

4.3.2.3. Valor terminal del proyecto

Este valor terminal del proyecto representa lo que éste aporta a la sociedad más allá del horizonte de evaluación. Existen dos métodos para la cuantificación de este valor:

- A partir de la inversión inicial, basado en la idea del valor de la infraestructura tras la depreciación sufrida durante el periodo de evaluación. Para su cuantificación se aplica un porcentaje de depreciación sobre la inversión inicial. Bajo la hipótesis de que esta depreciación sea lineal, la depreciación será el resultado de dividir el periodo de evaluación entre la vida útil de la infraestructura. El valor obtenido por este procedimiento sería por tanto un valor residual de la inversión y no contemplaría la potencial creación de beneficios del activo tras el periodo de evaluación.
- A partir del valor actualizado de beneficios y costes posteriores al horizonte de evaluación, en el que se considera de manera explícita que la vida del proyecto continúa tras el periodo de evaluación extendiéndose hasta el final del periodo de vida útil de la infraestructura. De este modo el valor terminal correspondería con el valor actualizado neto de los beneficios y costes aportados entre el final del periodo de evaluación y el de la vida útil.

Se propone adoptar como valor terminal a partir de la inversión inicial, dado que, a pesar de su simplificación, puede ser obtenido de un modo mucho más fiable que con el segundo procedimiento señalado. La dificultad de cuantificar los beneficios y costes más allá del periodo de evaluación generaría un alto grado de incertidumbre.

4.3.2.4. Definición de indicadores

Para establecer una comparativa entre las distintas alternativas se determinarán, al menos, los siguientes indicadores económicos, que se determinarán en base a los flujos de caja obtenidos anteriormente.

1. **Valor Actual Neto (VAN_s)**, que consiste en descontar los flujos de caja hasta un periodo común de referencia ($t=0$). En la evaluación económica (social) de la inversión se tomará la tasa de descuento social, que representa el coste de oportunidad de los recursos utilizados en la nueva infraestructura. En el apartado siguiente se analiza la elección de



esta tasa. Matemáticamente, la fórmula a utilizar para la obtención del VAN sería la siguiente:

$$VAN_S = \sum_{t=0}^T \frac{\Delta BS_t}{(1+i)^t}$$

donde,

VAN_S = Valor Actual Neto social.

ΔBS_t = Cambio en el beneficio social para el año "t".

i = tasa de descuento social

2. **Tasa Interna de Retorno (TIR_S)**, corresponde a la tasa de descuento que iguala a 0 el VAN_S
3. **Relación Beneficio / Coste (B/C_S)**, se define como el cociente de los beneficios y los costes descontados al año de referencia aplicando la tasa de descuento social.

4.3.2.5. Elección de la tasa de descuento social

La tasa de descuento social debe reflejar el coste de oportunidad de los recursos utilizados en la nueva infraestructura. Según se establece en el Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte, para la elección de la tasa social de descuento se plantean tres posibilidades:

- el tipo de interés de mercado
- la tasa marginal de preferencia temporal, definida como la disminución de valor que el consumo experimenta con el paso del tiempo para la sociedad.
- la tasa marginal de productividad del capital, definida como la rentabilidad que podría obtenerse de los fondos necesarios para un proyecto público en la mejor inversión alternativa.

Sin embargo en la práctica la tasa de descuento viene determinada por el Ministerio de Economía, o bien puede utilizarse la tasa marginal social de preferencia temporal que se proponen en algunos manuales, entre los cuales "Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects", en el que se propone para el periodo 2007-2013, una tasa del 5,5% para los países de Cohesión y del 3,5% en el resto.



4.4. Evaluación financiera

La evaluación financiera, como se indicaba al inicio del presente documento, valora la capacidad de generar ingresos que permitan cubrir los costes.

Esta evaluación tiene sentido en aquellas infraestructuras donde se prevea ingresos monetarios por el pago de peajes/tarifas, tasas, impuestos y/o cuando el agente ejecutor percibe subvenciones o recibe aportaciones monetarias en razón de las inversiones que realiza.

4.4.1. Análisis de la rentabilidad financiera de la inversión

Para el análisis financiero de la inversión, se determinará un flujo de caja en el que se considere por un lado los costes correspondientes a:

- Inversión necesaria para el diseño y construcción de la nueva infraestructura.
- Costes de operación y mantenimiento

Por otro lado los ingresos corresponderían a:

- Peajes o tarifas por el uso de la infraestructura.
- Valor residual.

Aplicando la misma metodología que la indicada para la evaluación económica, se determinará para el flujo de caja obtenido a partir de los costes e ingresos indicados, los diferentes indicadores económicos (VAN_F , TIR_F , B/C_F).

Para la determinación del VAN_F , debe seleccionarse una tasa de descuento financiera, que puede definirse como el coste de oportunidad del capital a largo plazo. Como valor referencial de esta tasa puede tomarse la establecida por la “Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects”, en la que se propone para el periodo 2007-2013 una tasa real de descuento del 5%.

4.4.2. Modelos de colaboración público - privada

Mediante la participación privada en la financiación de infraestructuras, se permite anticipar las inversiones, y se justifica por el coste de oportunidad que supone no disponer de la infraestructura necesaria.

Según se establece en la Ley 13/2003 (Ley Reguladora del Contrato de Concesión de Obras Públicas), existen diferentes fórmulas de colaboración público-privadas, como se muestran en la



tabla siguiente incluida en la publicación “Estudio sobre la Financiación Privada de Infraestructuras, Ana Isabel Irimia Diéguez/María Dolores Oliver Alfonso”

Generación de Ingresos	Opciones para optimizar la aplicación del método concesional		Principales artículos de la Ley 13/2003	Efecto sobre el déficit público
No hay ingresos	Construcción con cargo al ppto público	Pagos directos durante la construcción	Título 1 Libro II	Incremento progresivo
		Pago diferido al final de la construcción (Método alemán)	147,245	Incremento progresivo
		Pago diferido a la explotación. Riesgo concedente (Peaje en sombra)	225, 246-4	Incremento progresivo al recibirse la obra
		Pago diferido a la explotación. Riesgo concesionario (Peaje en sombra)	225, 245-4	Incremento progresivo equivalente a los pagos efectuados
	Contraprestación mediante concesión de dominio público en zona de servicios o área de influencia		130, 131	No tiene efectos
	Fórmula de financiación cruzada con otra infraestructura funcionalmente relacionada susceptible de generación de ingresos suficientes		226-1	No tiene efectos
Se generan ingresos pero no suficientes para repagar la inversión	Aportaciones públicas dinerarias a la construcción		224-3, 236-2, 241-3, 246	Incremento equivalente a los pagos efectuados
	Aportaciones públicas dinerarias a la explotación		224-3, 246, 247	Incremento progresivo equivalente a los pagos efectuados
	Aportaciones públicas no dinerarias		224-3, 230-g), 245-2	No tiene efectos
	Concesiones con financiación mixta. Créditos participativos		224-3, 233-e), 247-a	No tiene efectos salvo que no se recuperen los créditos
	Ampliación del ámbito concesional con explotaciones ajenas		223, 230-a) 231-c) 233-d), 246-6	No tiene efectos
	Aportación de otras Administraciones		224-4	Efecto equivalente a la aportación dineraria



Generación de Ingresos	Opciones para optimizar la aplicación del método concesional	Principales artículos de la Ley 13/2003	Efecto sobre el déficit público
	Fórmulas de financiación cruzada con otra infraestructura funcionalmente relacionada	226-1	No tiene efectos
Se generan ingresos suficientes para repagar la inversión	Concesión simple, o con fórmulas de financiación cruzada o de reparto de beneficios con el concedente	225	No tiene efectos
Desarrollo de Nuevas Concesiones. Ideas sobre posibles inversiones	Claúsula de iniciativa de los Particulares	227	

Fuente: Estudio sobre la Financiación Privada de Infraestructuras. Año 2010.

Para desarrollar alguno de los modelos anteriores, se hace necesaria la aplicación de fórmulas e instrumentos financieros para captar los fondos necesarios para su financiación.

En la tabla siguiente, extraída del “Estudio sobre la Financiación Privada de Infraestructuras, Ana Isabel Irimia Diéguez/María Dolores Oliver Alfonso”, se indican algunos instrumentos y fórmulas financieras:

Instrumentos y fórmulas financieras	Suministrados de fondos
Acciones	Promotores, entidades financieras, entidades aseguradoras, entidades públicas
Deuda subordinada y préstamos participativos	Promotores, entidades financieras y Administraciones Públicas
Deuda Senior:	Entidades financieras e inst. Multilaterales
Préstamos sindicados	Mercados financieros
Bonos	
Préstamo de banca multilateral	Banca multilateral
Fondos de pensiones	Mercados financieros
Fondos de infraestructuras	Mercados financieros
Titulización	Mercados financieros
Project Finance	Entidades y Mercados financieros

Fuente: Estudio sobre la Financiación Privada de Infraestructuras. Año 2010.

La mayoría de las fórmulas anteriores se basan en la garantía de los socios promotores y del activo físico del proyecto. Por el contrario el Project Finance consiste en que la devolución de los activos financieros utilizados en el proyecto se basa en su capacidad para generar flujos de caja.



En este último caso, se diseña una estructura financiera a medida de cada operación, en función de los flujos de tesorería estimados y de las características de la inversión a realizar.

4.4.3. Análisis de la rentabilidad financiera del capital

A raíz del modelo de participación público privada elegido, se determinarán los flujos de caja para el sector privado y el público, que corresponderían a:

1. Sector público, incurrirá principalmente en aportaciones dinerarias o pagos directos, diferidos o no para sufragar construcción y/o explotación de la nueva vía. En el año de finalización de la concesión, se computará como ingreso el valor residual de la infraestructura.
2. Sector privado, donde se incluirá como costes:
 - a. Inversiones en diseño y construcción.
 - b. Costes de mantenimiento y operación.
 - c. Intereses y comisiones de la deuda contraída.

Como ingresos se computarán:

- a. Peajes o tarifas pagadas por usuarios
- b. Pagos de la Administración en concepto de aportaciones dinerarias o pagos directos.
- c. Otros ingresos generados por actividades complementarias (publicidad, restauración, etc...)

En el caso de que la Administración no requiera de colaboración privada y reciba subvenciones (por ejemplo Fondos Europeos), deberá incluirse como costes, los de la inversión necesaria descontando la aportación de fondos recibidos y los de operación y mantenimiento. Como ingresos se incluirán los pagos directos del usuario (peajes o tarifas) y el valor residual en el último año de análisis.

Con estos flujos de caja se determinan los indicadores económicos VAN_K y TIR_K , que permitirá conocer la viabilidad financiera del modelo concesional propuesto.



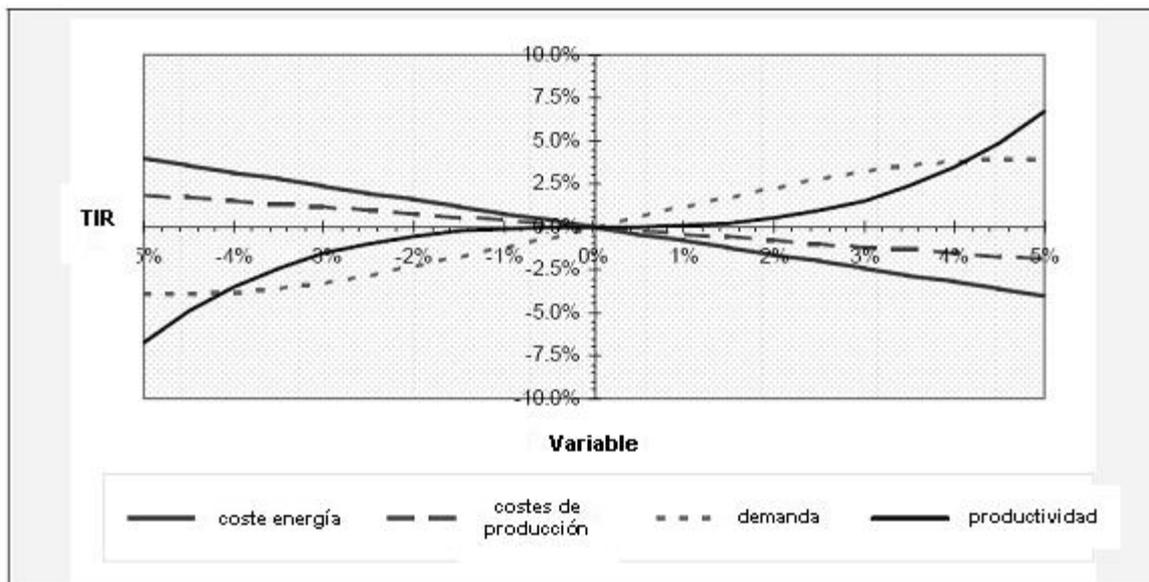
4.5. Análisis de riesgos

Con el análisis de riesgos se valorará la incertidumbre que presentan los indicadores económicos calculados con anterioridad ante una desviación de las variables que determinan los flujos de caja del Estudio.

En la "Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects", se establecen las etapas que se deben llevar a cabo para conocer el riesgo que se asume en la inversión. Éstas son tres:

- Análisis de sensibilidad, que permita identificar las variables críticas, es decir, aquellas que ante una variación generan una desviación importante en los indicadores económicos calculados. Este análisis se realizará en cuatro pasos:
 - Identificación de variables, tales como el tráfico previsto, costes de inversión, de operación y mantenimiento, coste del tiempo o del combustible, etc.
 - Eliminar aquellas variables dependientes entre sí.
 - Determinar la elasticidad, determinando la variación de los indicadores tras la variación de la variable que se analiza.
 - Elección de las variables críticas, basado en el resultado de la elasticidad, por ejemplo podría considerarse como críticas aquellas variables que al variar una unidad porcentual supongan un aumento en más de una unidad del indicador económica considerado (por ejemplo el VAN).

A continuación se muestra una gráfica en la que se efectúa este análisis de sensibilidad:



Fuente: *Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects. Comision Europea. Año 2008.*

- Distribución de probabilidad de las variables críticas, asignando a cada valor de la variable crítica su probabilidad de ocurrencia. La elección de las leyes de probabilidad dependerá de la disponibilidad de información de la variable en cuestión y de su propia naturaleza, de este modo por ejemplo la distribución discreta se utilizará cuando se disponga de un gran número de datos, la distribución normal (gausiana) cuando un gran número de variables afecten a la vez y de forma independiente y la triangular cuando no se disponga de información detallada del comportamiento de la variable, y por tanto sólo se disponga de tres variables (valor mínimo, esperado y máximo).

Figura H.1. Distribución discreta

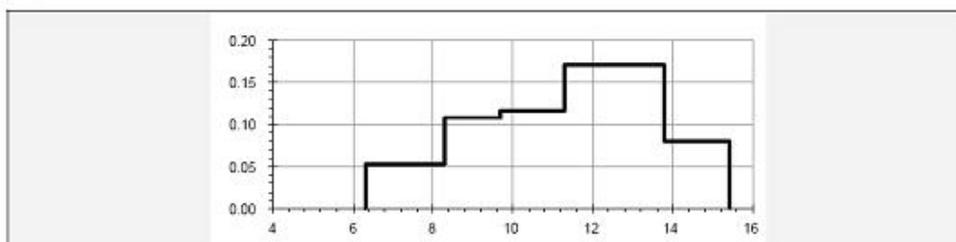


Figura H.2. Distribución Normal (Gauss)

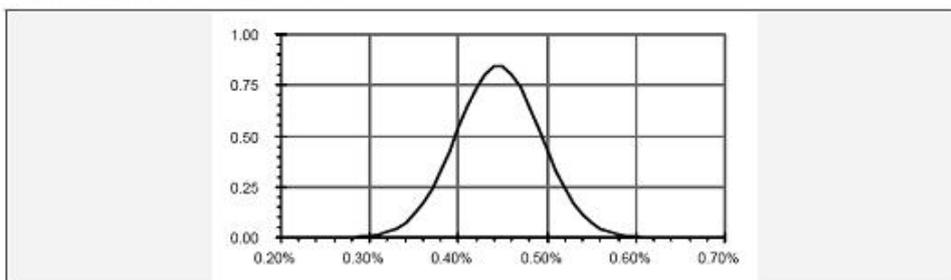
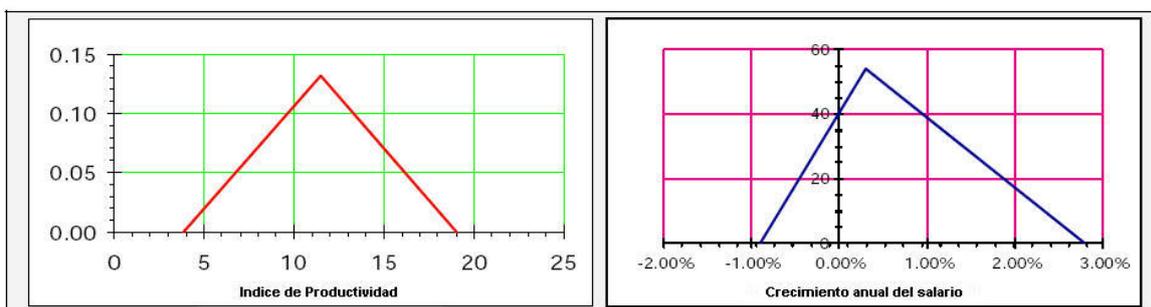
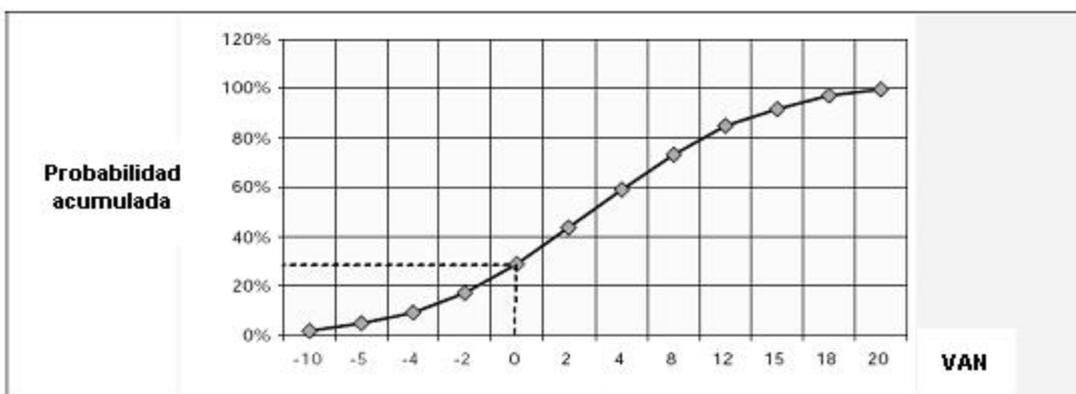


Figura H.3. Distribución Triangular (Simétrica y Asimétrica)



Fuente: Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects. Comision Europea. Año 2008.

- Análisis de riesgos, tras establecer la distribución de probabilidad a cada variable crítica, será posible determinar la distribución de los indicadores económicos que se consideren (VAN y TIR, fundamentalmente). Para ello puede utilizarse el Método de Monte Carlo, por ejemplo, a través del cual se obtiene el valor de los indicadores en base a la entrada aleatoria de valores de las variables críticas en el modelo.



Fuente: Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects. Comision Europea. Año 2008.



4.6. Adopción de decisiones

Como se indicaba al inicio del presente documento, el objetivo del Estudio de Rentabilidad es proporcionar herramientas al decisor para poder seleccionar la alternativa más idónea.

Una vez se disponga de estas herramientas, materializadas en los diferentes indicadores y el análisis de riesgos descritos, será necesario establecer unos criterios para la aceptación o rechazo de las alternativas propuestas.

Los criterios de selección pueden establecerse bajo dos ópticas, la primera bajo el supuesto de ignorar la incertidumbre asociada a la presencia de variables críticas que puedan generar variaciones sustanciales en los indicadores económicos obtenidos, y una segunda opción donde se incorpore el análisis de riesgos realizado.

En el caso de toma de decisión sin incertidumbre, se exigirá lo siguiente a las alternativas analizadas:

- $VAN_S > 0$
- $TIR_S > \text{tasa social}$
- $B/C > 1$

Respecto a los indicadores financieros,

- Si existen restricciones financieras: $VAN_F > 0 / TIR_F > \text{tasas de descuento financiero}$
- Si no existen restricciones financieras no sería obligatoria la condición anterior.

En el proceso de comparación de alternativas, resultarán más idóneas aquellas con VAN, TIR y B/C más elevados.

En el supuesto de introducir la decisión bajo incertidumbre, deberá considerarse los indicadores como variables aleatorias, cuyas distribuciones de probabilidad fueron obtenidas en el análisis de riesgos descrito con anterioridad.

Con estas distribuciones, la toma de decisiones podría establecerse bajo dos criterios:

1. Valor esperado del indicador, E, que se obtiene como la esperanza matemática del indicador a analizar. De este modo el criterio de selección sería muy similar al

explicado para la hipótesis en la que no exista incertidumbre, sólo que se establecería una comparación con el valor esperado del indicador correspondiente:

$$E(VAN_S) > 0$$

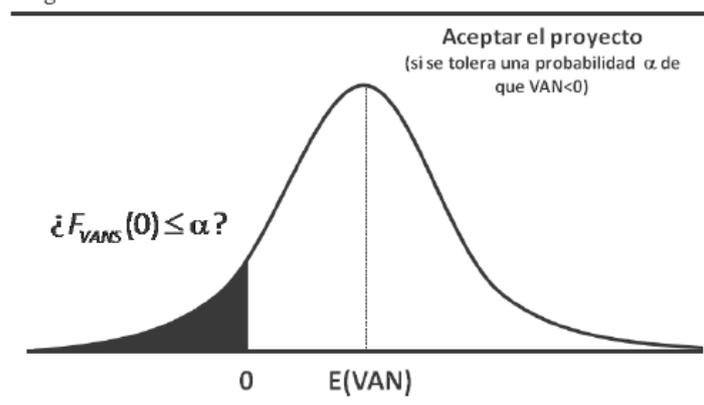
$$E(TIR_S) > \text{tasa social}$$

Y en caso de restricciones financieras debería cumplirse que $E(VAN_F) > 0$ / $E(TIR_F) >$ tasas de descuento financiero

2. Establecimiento de una probabilidad mínima, en la que se establezca, antes de llevar a cabo la evaluación, la probabilidad de que un indicador adquiera un valor inferior al establecido. Este valor será de cero en el caso del VAN y de la tasa de descuento en el caso de la TIR.

A modo de ejemplo se muestra una función de distribución para el VAN_S , que permite determinar cuál sería la probabilidad de que dicho indicador sea negativo. Si esta probabilidad es inferior a la establecida (α), se aceptaría el proyecto. Si se estuvieran comparando alternativas, la mejor valorada sería aquella que obtuviese una probabilidad menor de que su indicador fuese negativo (en caso del VAN) o inferior a la tasa de descuento (TIR).

Figura 3.4: Función de distribución del VAN



Fuente: Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte. CEDEX. Año 2010.



5. Bibliografía

- Recomendaciones para la Evaluación Económica, Coste – Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras, publicado por el MOPU en el año 1990 y actualizado en el año 2010.
- Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, publicado por la Dirección General de Política Regional de la Comisión Europea en Julio de 2008.
- Manual de Evaluación Económica de Proyectos del Transporte, publicado por el CEDEX en agosto de 2010.
- Estimación de los costes del productor y del usuario en la evaluación de proyectos de transporte.
- Orden FOM/3317/2010. Instrucción para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento.
- Encuesta de movilidad de las personas residentes en España (Movilia). 2006-2007.
- Observatorio del Transporte de Mercancías por Carretera. Oferta y demanda. Enero de 2014.
- Herramienta CO2TA para la evaluación de las emisiones de CO2 del tráfico por carretera. CEDEX.
- Highway Design Model (HDMGlobal, 2005).
- Directrices del procedimiento para la realización de evaluaciones de impacto de las infraestructuras viarias en la seguridad en la Red de Carreteras del Estado aprobadas por la Orden Circular 30/2012, de 20 de junio.
- Precios de Carburantes y Combustibles publicados por el Ministerio de Industria.
- Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono www.sendeco2.com.
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013.



- Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. (HEATCO).
- Valoraciones económicas de externalidades asociadas a proyectos de transporte.
- Estudio sobre la Financiación Privada de Infraestructuras, Ana Isabel Irimia Diéguez/María Dolores Oliver Alfonso. Año 2010.