Evaluación Económica de Proyectos de Transporte

Ginés de Rus Mendoza • Ofelia Betancor Cruz • Javier Campos Méndez

MANUAL

Manual de evaluación económica de proyectos de transporte

Ginés de Rus Mendoza
Ofelia Betancor Cruz
Javier Campos Méndez

Banco Interamericano de Desarrollo

Washington, D. C.

Ginés de Rus Mendoza, Ofelia Betancor Cruz y Javier Campos Méndez están vinculados al Departamento de Análisis Económico Aplicado de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España). Este trabajo fue financiado con apoyo del Fondo General de Cooperación de España (FGCE; operación ATN/FG-9422-RS, proyecto RS-T1207), coordinado por Juan Benavides (Especialista Senior de Infraestructura del Departamento de Desarrollo Sostenible) y liderado por el Catedrático Ginés de Rus Mendoza. Este documento se publica con el único objetivo de contribuir al diseño y evaluación de proyectos de transporte en América Latina y el Caribe. Así pues, no refleja la postura oficial del Banco Interamericano de Desarrollo.

Publicación del Banco Interamericano de Desarrollo, noviembre de 2006

Gerente a.i., Departamento de Desarrollo Sostenible: Antonio Vives
Jefe, División de Infraestructura y Mercados Financieros: Pietro Masci

Esta publicación se puede obtener en:

Publicaciones de Infraestructura y Mercados Financieros
División de Infraestructura y Mercados Financieros
Banco Interamericano de Desarrollo
1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577
Mail Stop W-0508

Correo electrónico: sds/ifm@iadb.org
Fax: 202-623-2157
Sitio web: http://www.iadb.org/sds/ifm

Catalogación proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera
del Banco Interamericano de Desarrollo

Rus, Ginés de.

Manual de evaluación económica de proyectos de transporte / Ginés de Rus Mendoza, Ofelia Betancor Cruz, Javier Campos Méndez.

p.cm
Includes bibliographical references.

1. Transportation—Economic aspects—Evaluation—Handbooks, manuals, etc. 2. Economic development projects—Evaluation—Handbooks, manuals, etc. I. Betancor, Ofelia. II. Campos-Méndez, Javier. III. Inter-American Development Bank. Sustainable Development Dept.

HE151 R87 2006
388 R87-----dc22

Prólogo

El sector de transporte tendrá una importancia creciente en la región ante la necesidad de integrar físicamente los mercados internos de los países y facilitar el comercio exterior. El BID espera consolidar su trayectoria de apoyo al sector de vialidad, que incluye, entre otras intervenciones, los programas de caminos rurales y los programas de mantenimiento y rehabilitación de autopistas y redes secundarias; así como también espera extender y profundizar su contribución en la prestación de servicios logísticos y transporte multimodal para promover la competitividad de centros urbanos y espacios subnacionales y facilitar el acceso de transporte a la mayoría.

Los mayores impactos del Banco en el sector de transporte se han logrado cuando las operaciones y los esfuerzos de capacitación de los equipos técnicos gubernamentales han ido de la mano. Con esto en mente, se ha preparado este Manual que dota tanto al BID como a los gobiernos de sus países prestatarios de una herramienta de evaluación ágil de proyectos de transporte, consistente con los avances en la economía aplicada, las lecciones aprendidas internacionalmente y la necesidad de elegir los mejores proyectos presentados a su consideración.

El Manual es autocontenido, está orientado a las aplicaciones en todos los modos de transporte y utiliza profusamente ayudas pedagógicas (diagramas, cuadros de resumen, ejemplos de aplicación y estudios de caso detallados). Además, aconseja aproximaciones plausibles cuando la información sobre el proyecto analizado es escasa o de baja calidad. No es fácil lograr un resultado de las características enunciadas. El BID ha tenido la suerte de contar con el concurso de un grupo internacionalmente reconocido de investigadores del Departamento de Análisis Económico Aplicado de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, que conjuga tanto rigor como experiencias en el terreno, en muchos países y en todos los modos de transporte.

Agradecemos al Fondo de General de Cooperación de España (FGCE) el apoyo financiero para desarrollar este útil producto que esperamos difundir ampliamente en América Latina y el Caribe.

Antonio Vives
Gerente, a.i.
Departamento de Desarrollo Sostenible

Agradecimientos

Agradecemos los comentarios de los participantes en el seminario sobre evaluación económica de proyectos de transporte celebrado en el Banco Interamericano de Desarrollo el 12 de septiembre de 2006. En el trabajo de campo de los tres casos que se incluyen en el capítulo quinto hemos contado con el apoyo y colaboración inestimables de Esteban Diez-Roux, Néstor Roa y Alejandro Taddia.

Agradecemos especialmente a Juan Benavides su asesoramiento y orientación durante los trabajos previos y en la redacción de la versión final del Manual.

Ginés de Rus Mendoza
Ofelia Betancor Cruz
Javier Campos Méndez

Octubre de 2006
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Tabla de contenidos

PRÓLOGO III
AGRADECIMIENTOS V

CAPÍTULO 1. LECCIONES APRENDIDAS 1
1.1. OBJETIVOS Y PRINCIPIOS ECONÓMICOS 3
1.2. PRINCIPALES LECCIONES APRENDIDAS 6
1.3. LA HOJA DE RUTA 17

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA 19
2.1. EL MODELO BÁSICO 21
2.1.1. EL MODELO DE EVALUACIÓN 21
2.1.2. EL VALOR ACTUAL NETO DE UN PROYECTO 23
2.1.3. LA RELACIÓN ENTRE EL VAN SOCIAL Y EL VAN FINANCIERO 27
2.1.4. EL FLUJO DE BENEFICIOS Y COSTES EN EL VAN 28
2.2. MEDICIÓN DE BENEFICIOS Y COSTES 29
2.2.1. BENEFICIOS Y COSTES DE UN PROYECTO DE TRANSPORTE 30
2.2.2. FUNDAMENTOS DE LA MEDICIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES EN EL TRANSPORTE . . . 30
2.2.4. ASPECTOS DINÁMICOS: DEMANDA Y COSTES CON Y SIN PROYECTO 40
2.3. INCERTIDUMBRE Y CRITERIOS DE DECISIÓN 44
2.3.1. LA INCERTIDUMBRE EN LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE 44
2.3.2. MODELIZACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE 46
2.3.3. CRITERIOS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE 49
2.3.4. LA DECISIÓN DE RETRASAR UN PROYECTO 53
2.4. COMPLETANDO EL MODELO BÁSICO 57
2.4.1. LIMITACIONES DEL MODELO BÁSICO 57
2.4.2. PRECIOS-SOMBRA 57
2.4.3. TASA SOCIAL DE DESCUENTO 61
2.4.4. MEDICIÓN MONETARIA DEL COSTE DE LOS ACCIDENTES Y DE LOS IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES 63
2.4.5. ¿DEBEN INCLUIRSE LOS EFECTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO? 67
2.4.6. INCENTIVOS Y CONTRATOS 68
2.4.7. BENEFICIOS Y BENEFICIARIOS: EFICIENCIA Y EQUIDAD 72

CAPÍTULO 3. APLICANDO EL MODELO BÁSICO 75
3.1. EVALUACIÓN EN LA PRÁCTICA: UN EJEMPLO 77
3.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO 78
3.2.1. CÓMPUTO DE BENEFICIOS Y COSTES SOCIALES Y PRIVADOS 79
3.2.2. EL PAPEL DE LA INCERTIDUMBRE 82
3.2.3. CÁLCULO Y DISCUSIÓN DEL VAN SOCIAL Y EL VAN FINANCIERO 85
3.2.4. LA DISTRIBUCIÓN DE RIESGOS Y EL PAPEL DE LOS INCENTIVOS 89

3.3. MÉTODOS ALTERNATIVOS 92
3.3.1. CÁLCULO DEL VAN SOCIAL MEDIANTE CAMBIOS EN LA DISPOSICIÓN A PAGAR Y EN LOS RECURSOS UTILIZADOS 92
3.3.2. CALCULO DEL VAN FINANCIERO USANDO MAGNITUDES MONETARIAS 96

CAPÍTULO 4. ASPECTOS ESPECÍFICOS 99
4.1. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE 101
4.2. LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA 101
4.2.1. ¿CÓMO SE PREDICE LA DEMANDA DE TRANSPORTE? 102
4.2.2. LA ESTIMACIÓN DE LA ELASTICIDAD DE LA DEMANDA 104
4.3. MEDICIÓN DEL TRÁFICO INDUCIDO 109
4.4. VALORACIÓN DE BIENES QUE NO TIENEN MERCADO 111
4.4.1. EL VALOR DE LOS AHORROS DE TIEMPO 111
4.4.2. EL VALOR DE LOS ACCIDENTES EVITADOS 116
4.4.3. LA VALORACIÓN DE LOS COSTES MEDIOAMBIENTALES 118
4.5. EL PAPEL DE LA INTERMODALIDAD 123
4.5.1. EL PAPEL DE LA COMPETENCIA INTERMODAL 123
4.5.2. REDES DE TRANSPORTE Y CONEXIONES INTERMODALES 124
4.6. CONGESTIÓN Y LIMITACIÓN DE CAPACIDAD 125
4.6.1. LA CONGESTIÓN EN EL TRANSPORTE POR CARRETERA 125
4.6.2. CONGESTIÓN EN OTRAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE 128
4.7. PROYECTOS DE INTEGRACIÓN FÍSICA REGIONAL 129

CAPÍTULO 5. CASOS DE ESTUDIO 131
5.1. LA CARRETERA LINDEN-LETHEM (GUYANA) 133
5.1.1. INTRODUCCIÓN 133
5.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO 133
5.1.3. MÉTODOS Y RESULTADOS 138
5.1.4. DISCUSIÓN 140
5.2. LA CARRETERA FLORIANÓPOLIS-OSÓRIO (BRASIL) 146
5.2.1. INTRODUCCIÓN 146
5.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO 147
5.2.3. MÉTODOS Y RESULTADOS 153
5.2.4. DISCUSIÓN 156
5.3. EL PROYECTO BRT-METROVÍA EN MANAGUA 160
5.3.1. INTRODUCCIÓN 160
5.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO 161
5.3.3. MÉTODOS Y RESULTADOS 166
5.3.4. DISCUSIÓN 171

Índice de figuras

FIGURA 2.1. ESTRUCTURA TEMPORAL DE UN PROYECTO: BENEFICIOS Y COSTES 24
FIGURA 2.2. RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL VAN SOCIAL Y EL VAN FINANCIERO 25
FIGURA 2.3. BENEFICIOS SOCIALES DE UN PROYECTO DE TRANSPORTE (I) 32
FIGURA 2.4. BENEFICIOS SOCIALES DE UN PROYECTO DE TRANSPORTE (II). 33
FIGURA 2.5. BENEFICIOS SOCIALES CUANDO EXISTE UN IMPUESTO UNITARIO 34
FIGURA 2.6. BENEFICIOS SOCIALES CUANDO EXISTE UNA EXTERNALIDAD NEGATIVA 35
FIGURA 2.7. MEDICIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES: EL CASO GENERAL 37
FIGURA 2.8. BENEFICIOS SOCIALES: EQUIVALENCIA DE LAS DOS APROXIMACIONES 38
FIGURA 2.9. BENEFICIOS INICIALES DEL PROYECTO (AÑO T) 41
FIGURA 2.10. BENEFICIOS DEL PROYECTO Y CAMBIOS EN LA DEMANDA (AÑO T +1) 42
FIGURA 2.11. BENEFICIOS DEL PROYECTO Y CAMBIOS EN LOS COSTES (AÑO T) 43
FIGURA 2.12. BENEFICIOS DEL PROYECTO Y CAMBIOS EN LOS COSTES (AÑO T +1) 43
FIGURA 2.13. FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN EL CÁLCULO DEL VAN 45
FIGURA 2.14. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD MÁS HABITUALES 47
FIGURA 2.15. RECHAZAR SIEMPRE UN PROYECTO (CASO 1) 50
FIGURA 2.16. ACEPTAR (CONDICIONALMENTE) UN PROYECTO (CASO 2). 50
FIGURA 2.17. ACEPTAR, RECHAZAR O REVISAR UN PROYECTO (CASO 3) 51
FIGURA 2.18. UN PROYECTO ES SIEMPRE PREFERIBLE A OTRO (CASO 4). 52
FIGURA 2.19. LA DECISIÓN DEPENDE DEL RESULTADO FINANCIERO (CASO 5). 52
FIGURA 2.20. LA DECISIÓN DEPENDE DEL RIESGO (CASO 6). 53
FIGURA 2.21. EJEMPLO: UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA 55
FIGURA 2.22. DOS CASOS POSIBLES: BENEFICIOS ALTOS O BAJOS 55
FIGURA 3.1. SITUACIÓN ACTUAL Y PROYECTO PROPUESTO 77
FIGURA 3.2. EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO ESPERADO CON PROYECTO. 83
FIGURA 3.3. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL VAN SOCIAL 85
FIGURA 3.4. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL VAN FINANCIERO 89
FIGURA 3.5. MEDICIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIALES POR DOS APROXIMACIONES 93
FIGURA 5.1. DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LOS COSTES DE CONSTRUCCIÓN. 135
FIGURA 5.2. TASAS ALEATORIAS DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA 136
FIGURA 5.3. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DEL VAN SOCIAL 142
FIGURA 5.4. NIVELES DE ACCIDENTALIDAD EN LA CARRETERA FLORIANÓPOLIS-OSÓRIO .149
FIGURA 5.5. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO POR TIPO DE VEHÍCULO Y SEGMENTO 150
FIGURA 5.6. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD UTILIZADAS (MODELO 2). 152
FIGURA 5.7. COMPARACIÓN DE PREDICCIONES DE DEMANDA. 153
FIGURA 5.8. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD EN EL CÁLCULO DEL VALOR DEL TIEMPO 155

FIGURA 5.9. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DEL VAN SOCIAL 157
FIGURA 5.10. ESTRUCTURA DEL SISTEMA BRT DE MANAGUA 161
FIGURA 5.11. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA CON Y SIN PROYECTO 165
FIGURA 5.12. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA 165
FIGURA 5.13. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DEL VAN SOCIAL Y DEL VAN FINANCIERO: BRT-MANAGUA 170

Índice de cuadros

CUADRO 1.1. PRINCIPIOS ECONÓMICOS EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS 3
CUADRO 2.1. CRITERIOS DE DECISIÓN EN AUSENCIA DE INCERTIDUMBRE 26
CUADRO 2.2. PRINCIPALES BENEFICIOS Y COSTES EN PROYECTOS DE TRANSPORTE. 30
CUADRO 2.3. CRITERIOS DE DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE. 49
CUADRO 3.1. VALORES NUMÉRICOS PROPUESTOS PARA EL PROYECTO 83
CUADRO 3.2. COMPONENTES DE LOS BENEFICIOS SOCIALES MEDIANTE LA APROXIMACIÓN DEL CAMBIO EN LOS EXCEDENTES 86
CUADRO 3.3. VAN SOCIAL Y FINANCIERO DEL PROYECTO 88
CUADRO 3.4. VALORES CRÍTICOS EN EL CÁLCULO DEL VAN FINANCIERO. 90
CUADRO 3.5. EFECTOS DE LAS VARIABLES ALEATORIAS SOBRE EL VAN ESPERADO 90
CUADRO 3.6. COMPONENTES DE LOS BENEFICIOS SOCIALES MEDIANTE LA APROXIMACIÓN DEL CAMBIO EN LA DISPOSICIÓN A PAGAR Y LOS RECURSOS. 94
CUADRO 3.7. CÁLCULO DEL VAN FINANCIERO ESPERADO (EN TÉRMINOS NOMINALES) 96
CUADRO 4.1. ESTIMACIONES DE LA ELASTICIDAD-PRECIO POR MODO DE TRANSPORTE . . 105
CUADRO 4.2. ESTIMACIONES DE LA ELASTICIDAD-PRECIO POR MOTIVO DE VIAJE 106
CUADRO 4.3. ELASTICIDADES CRUZADAS ENTRE MODOS DE TRANSPORTE 107
CUADRO 4.4. ELASTICIDADES-TIEMPO SEGÚN MEDIO Y MOTIVO DE VIAJE. 108
CUADRO 4.5. CLASIFICACIÓN DE TIEMPOS DE VIAJE: TRANSPORTE DE PASAJEROS 112
CUADRO 4.6. ESTIMACIONES DEL VALOR DEL TIEMPO EN AMÉRICA LATINA 113
CUADRO 4.7. VALOR DEL TIEMPO COMO PORCENTAJE DEL SALARIO MEDIO (CHILE) 113
CUADRO 4.8. VALOR DEL TIEMPO EN EL TRANSPORTE DE PASAJEROS (EUROPA) 114
CUADRO 4.9. VALOR DEL TIEMPO EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS (EUROPA) 115
CUADRO 4.10. VALOR DEL TIEMPO EN EE.UU. (COMO PORCENTAJE DEL SALARIO) 115
CUADRO 4.11. DISTINTOS COMPONENTES DEL COSTE DE LOS ACCIDENTES. 116
CUADRO 4.12. VALORES DE UNA VIDA ESTADÍSTICA (VOSL) EN EUROPA 117
CUADRO 4.13. VOSL MEDIO POR PAÍSES CON DATOS DISPONIBLES 118
CUADRO 4.14. VOSL: ESTIMACIONES PARA AMÉRICA LATINA. 118
CUADRO 4.15. COSTES MEDIOAMBIENTALES EN TRANSPORTE Y SUS IMPACTOS 119
CUADRO 4.16. COSTES MEDIOAMBIENTALES DEL TRANSPORTE: ALEMANIA Y SUIZA (1998) 121
CUADRO 4.17. COSTE DE LAS EMISIONES DEL TRANSPORTE POR CARRETERA 122
CUADRO 4.18. VARIABLES USADAS EN LA DEFINICIÓN DE ECUACIONES VELOCIDAD-FLUJO 126
CUADRO 4.19. ECUACIONES VELOCIDAD-FLUJO EN EL REINO UNIDO 127
CUADRO 4.20. NIVELES DE SERVICIO EN LAS CARRETERAS DEL REINO UNIDO. 127
CUADRO 4.21. NIVELES DE SERVICIO EN TERMINALES AEROPORTUARIAS 129

CUADRO 5.1. NIVELES DE TRÁFICO REALES EN LA RUTA (1999) 134
CUADRO 5.2. ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN Y COSTES DE CONSTRUCCIÓN ESTIMADOS 134
CUADRO 5.3. ESTIMACIÓN DE LOS COSTES DE MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA 137
CUADRO 5.4 TIEMPOS DE VIAJE ESPERADOS POR TRAMO Y PARA CADA ALTERNATIVA (HORAS). 138
CUADRO 5.5. VALORES INICIALES DEL TIEMPO DE VIAJE (POR HORA) 139
CUADRO 5.6. BENEFICIOS SOCIALES ESPERADOS DEL PROYECTO: RESUMEN (VALORES DESCONTADOS EN DÓLARES DE 2008) 140
CUADRO 5.7. BENEFICIOS Y COSTES SOCIALES DESAGREGADOS (EN VALOR ESPERADO) . . . 141
CUADRO 5.8. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO (ALTERNATIVA 1) 143
CUADRO 5.9. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO (ALTERNATIVA 2) 144
CUADRO 5.10. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO (ALTERNATIVA 3) 145
CUADRO 5.11. CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA FLORIANÓPOLIS-OSÓRIO 146
CUADRO 5.12. COSTES DE CONSTRUCCIÓN DESAGREGADOS 148
CUADRO 5.13. BENEFICIOS SOCIALES ESPERADOS DEL PROYECTO 156
CUADRO 5.14. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO (MODELO 1). 158
CUADRO 5.15. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO (MODELO 2). 159
CUADRO 5.16. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LOS COSTES DE INVERSIÓN 162
CUADRO 5.17. FLOTA DE AUTOBUSES REQUERIDA PARA OPERAR EL SISTEMA BRT 163
CUADRO 5.18. COSTE MEDIO ANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 163
CUADRO 5.19. TIEMPOS DE VIAJE CON Y SIN PROYECTO PARA UN VIAJERO MEDIO 166
CUADRO 5.20. BENEFICIOS SOCIALES ESPERADOS DEL PROYECTO (VALORES DESCONTADOS EN DÓLARES DE 2008) 169
CUADRO 5.21. RESUMEN POR AÑOS DE LOS BENEFICIOS Y COSTES ESPERADOS DEL PROYECTO 172

Abreviaturas y símbolos utilizados

ACB	Análisis Coste-Beneficio
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
$BS_1,\ldots, BS_T$	Beneficios sociales anuales
$CP_1,\ldots, CP_T$	Costes privados anuales
$CS_1,\ldots, CS_T$	Costes sociales anuales
EC	Excedente de los consumidores
EP	Excedente de los productores
g	Precio generalizado
ψ	Impuesto unitario
ε	Impacto unitario de una externalidad
η	Elasticidad-precio de la demanda
s	Subvención unitaria
i	Tasa de descuento (nominal)
I_0	Costes de inversión en el año base
i_n	Tasa de descuento (nominal)
$p_1\, q_1,\ldots, p_T\, q_T$	Ingresos anuales
t	Períodos de tiempo
T	Duración del proyecto
τ	Tiempo total de viaje
VAN	Valor actual neto
VAN_f	Valor actual neto financiero
VAN_s	Valor actual neto social
v	Valor del tiempo
z	Coste operativo por viaje (para un usuario)

Capítulo 1.

Lecciones aprendidas

1.1. Objetivos y principios económicos

Las infraestructuras de transporte son una condición necesaria para el crecimiento económico, pero una misma dotación agregada de capital público en infraestructuras puede estar asociada a distintas tasas de crecimiento y niveles de vida. **No se trata sólo de invertir, sino de invertir bien.**

Decidir a qué infraestructuras se les da prioridad, si se invierte en nueva construcción o en mantenimiento, en ferrocarril o en carretera, en qué zonas geográficas y en qué momento del tiempo, son elecciones vitales para el futuro de un país.

La evaluación económica de los proyectos de infraestructura ayuda a tomar estas decisiones, al permitir comparar el beneficio social esperado con el coste de oportunidad de la inversión.

Este *Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte* se ha elaborado a partir de un objetivo general y de nueve principios que se desprenden del análisis económico y de las lecciones aprendidas en la práctica del análisis coste-beneficio (ACB) por agencias nacionales y supranacionales.

El objetivo general

El objetivo general de este *Manual* es dotar al Banco Interamericano de Desarrollo (*BID*) y a los gobiernos de sus países prestatarios de una **herramienta de evaluación de proyectos de transporte** que sea útil y consistente con los avances conceptuales de la teoría económica, con las lecciones aprendidas internacionalmente y con la necesidad de elegir entre proyectos alternativos, diseñados dentro de las limitaciones habituales de recursos materiales y humanos y de la incertidumbre, que caracterizan a los procesos de evaluación en el mundo real.

Los principios económicos

Los nueve principios que informan este *Manual*, fundamentados en la teoría económica y en la experiencia internacional de evaluación económica, se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 1.1. Principios económicos en la evaluación de proyectos

1. Los proyectos deben ser evaluados, a pesar de las dificultades.
2. El objetivo de la evaluación es distinguir los "buenos" de los "malos" proyectos.
3. La evaluación resulta más útil cuando se cumplen algunas condiciones previas sobre la naturaleza del proyecto.
4. Los resultados económico y financiero del proyecto no pueden independizarse.
5. El riesgo debe incorporarse estructuralmente desde el comienzo en la evaluación.
6. El ACB es una herramienta de diseño y dimensionamiento del proyecto.
7. Los costes y beneficios reales dependen de la estructura de contratos e incentivos y de la propia evaluación.
8. Identificar ganadores y perdedores puede ayudar en el éxito del proyecto.
9. No todos los impactos medioambientales pueden medirse en el análisis coste-beneficio.

1. Los proyectos deben ser evaluados, a pesar de las dificultades

Un proyecto de inversión estándar en infraestructuras de transporte reúne varias características: alto coste de la inversión inicial, indivisibilidades, irreversibilidad de la inversión, riesgo de demanda; y por tanto, incertidumbre asociada al resultado esperado del proyecto; y finalmente, posibilidad de posponer la inversión. La decisión de invertir no es generalmente del tipo "ahora o nunca".

Las características mencionadas resaltan la **importancia de la evaluación económica *ex ante* de los proyectos de inversión.** Si la inversión es irrecuperable una vez concluida la construcción de la infraestructura, y si existe incertidumbre sobre los beneficios de dicha inversión durante la vida económica del proyecto, **la identificación y cuantificación de los flujos de beneficios y costes del proyecto puede aportar información muy útil** a la agencia pública responsable sobre la conveniencia de realizar la inversión.

▶2. El objetivo de la evaluación es distinguir los "buenos" de los "malos" proyectos

A pesar del desarrollo notable de la teoría y técnicas de evaluación, en la práctica es frecuente que las agencias públicas responsables de acometer o financiar proyectos de inversión en infraestructuras, estén constreñidas por **dos tipos de limitaciones**:

- **escasez de información** relevante sobre los efectos de los proyectos, y
- **recursos técnicos limitados** para realizar una evaluación en profundidad.

Bajo estas circunstancias siempre es útil la realización de una primera evaluación económica que, aceptando la existencia de estas limitaciones, permita arrojar algo de luz sobre los efectos más relevantes de los proyectos y su magnitud, con el fin de filtrar los que, con muy baja probabilidad, suponen una contribución positiva al bienestar social, de los que son probablemente buenos proyectos y que merecerían un análisis más detallado si esto fuese factible.

Este *Manual* no persigue conocer con exactitud cuál es la rentabilidad económica de los proyectos evaluados. Su aspiración es ayudar a la selección de los buenos proyectos.

El objetivo de este *Manual* es esencialmente distinguir si un proyecto es "bueno" o "malo" desde una perspectiva socio-económica, sin pretender exactitud en la determinación de su tasa interna de rendimiento. Ni la incertidumbre asociada al proceso de evaluación (datos incompletos o de dudosa calidad, o dificultades para determinar *a priori* los efectos del proyecto), ni la asociada al proyecto evaluado (variaciones en la demanda y costes) permiten aspirar a la determinación exacta del valor actual neto (*VAN*) *ex ante* del proyecto.

▶3. La evaluación resulta más útil cuando se cumplen algunas condiciones previas

La metodología del análisis coste-beneficio convencional es útil cuando se cumplen varias condiciones que hacen permisible la utilización del equilibrio parcial y la estática comparativa:

1. En primer lugar, el proyecto debe ser "**pequeño**",[1] en el sentido de que sus efectos más significativos puedan circunscribirse al mercado primario y a unos pocos mercados relacionados con impactos fácilmente identificables y significativos.

2. En segundo lugar, que **existan mercados** para los *outputs* del proyecto, o no existiendo mercados se disponga de técnicas para valorarlos con ciertas garantías.

3. En tercer lugar, que las **incertidumbres** científicas sean **tolerables** y los periodos de **tiempo** en los que hay que evaluar **no sean exageradamente prolongados.**

"Cuando no se cumplen estas condiciones la metodología se torna más especulativa, la incertidumbre hace que los resultados probables entren en un rango excesivamente amplio y pierdan valor práctico"[2]

---

[1] Johansson, P-O (1993): *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*. Cambridge University Press.
[2] Comentarios de E.M. Gramlich en el *Werner Sichel Economics-Seminar Series* (Western Michigan University, octubre 2002).

▶4. Los resultados económicos y financieros del proyecto no pueden independizarse

El análisis coste-beneficio no debe limitarse a la cuantificación de los beneficios y costes sociales, con independencia de sus resultados financieros. **Un proyecto puede producir el mayor beneficio social neto cuando el precio es cero, y sin embargo ser financieramente inviable cuando la situación presupuestaría aconseja que el usuario pague.**

Las implicaciones financieras de las distintas alternativas de precios que un proyecto admite es un *output* de la evaluación que debe acompañar al *VAN* social del proyecto. **Evaluar distintas alternativas tarifarias y comparar su impacto sobre el *VAN* social y financiero arroja información muy útil sobre el *trade-off* entre rentabilidad económica y viabilidad financiera,** que raramente el agente decisor puede ignorar.

▶5. El riesgo debe incorporarse estructuralmente al análisis desde el comienzo

El optimismo en la predicción de la demanda y la subestimación de los costes son dos características que se repiten con demasiada frecuencia en los proyectos de transporte. Si la incertidumbre asociada a la demanda de transporte y a los costes de construcción y operación desaconseja trabajar con variables deterministas, parece conveniente estructurar la evaluación utilizando **rangos de posible variación aleatoria de estas variables** en lugar de valores fijos que pueden dar la falsa sensación de certeza en los resultados finales.

Dado su carácter general y persistente en los proyectos de transporte, parece aconsejable incorporar la incertidumbre y el análisis de riesgo en el modelo básico desde el principio de la evaluación, y no limitarlo a un último capítulo o apéndice del *Manual*.

▶6. El ACB debe usarse como herramienta para el diseño y dimensionamiento del proyecto

La metodología de análisis contenida en este *Manual* está concebida para ayudar a la toma de decisiones. Es un **instrumento de análisis**, no un requisito administrativo que hay que superar para que el *BID* apruebe un proyecto.

Si este *Manual* se convierte en un requisito burocrático habría perdido todo su potencial como herramienta de análisis económico. Por ello, el reto consiste en que el sistema de incentivos asociado al proceso de evaluación de inversiones favorezca la utilización del *Manual* en su concepción original, es decir, **como ayuda a la toma de decisiones en beneficio del interés general de la sociedad.**

▶7. Los costes y beneficios reales dependen de la estructura de contratos e incentivos y no del ACB

La evaluación económica tiene como finalidad estimar el beneficio neto esperado de los proyectos de inversión, pero el que se materialice o no dicho beneficio *ex ante* a lo largo de la vida del proyecto dependerá en gran medida de los contratos y del sistema de incentivos que se utilice para la fase de construcción y, posteriormente, para la explotación de la infraestructura correspondiente.

Un sistema de incentivos inadecuado puede elevar los costes de mantenimiento, o que la empresa encargada de la explotación de la infraestructura no la conserve en las condiciones pactadas, elevando, por ejemplo, los costes operativos de los vehículos y el número de accidentes, de manera que el *VAN* calculado en la evaluación se reduzca o incluso se haga negativo. **La evaluación económica es más útil y menos especulativa si incorpora la discusión sobre los contratos que van a utilizarse durante la vida del proyecto.**

▶8. Hay que identificar los perdedores y su poder para vetar o distorsionar el proyecto

Hay proyectos cuyos costes y beneficios suelen repartirse entre la población sin originar problemas de equidad significativos. Otros proyectos perjudican o benefician de manera asimétrica según el nivel de renta o la zona geográfica.

Este *Manual* no aborda de manera explícita la ponderación de los beneficios según el grupo afectado, considerando que es preferible identificar, cuando sea pertinente, los grupos relevantes afectados y desagregar beneficios y costes por grupos y zonas geográficas, de manera que los responsables de tomar la decisión sobre la aprobación o rechazo del proyecto, tengan junto con el efecto sobre la eficiencia, las repercusiones distributivas que suponen su ejecución. Además de incrementar la información para la toma de decisiones, esto puede permitir **identificar quiénes deben ser compensados y quiénes pueden contribuir en su caso a la financiación del proyecto.**

▶9. Deben fijarse metas realistas en la medición de los impactos medioambientales

Finalmente, este *Manual* aspira a cuantificar los efectos relevantes de los proyectos para llegar a un rango de valores actuales netos y sus probabilidades de ocurrencia. Con este fin se miden cambios en los tiempos de viaje, accidentes o ruido.

Sin embargo, este *Manual* **no contempla el escenario en el que absolutamente todo es cuantificable**, y aunque anima a incluir los estudios de valoración medioambiental disponibles que tengan un mínimo de fiabilidad, considera preferible incluir una descripción cualitativa solvente de un impacto sobre el paisaje o la fauna, asociado a la posible construcción de una infraestructura, que incluir el coste monetario de dicho impacto obtenido en un ejercicio de valoración medioambiental que no ofrezca garantías.[3]

▶ 1.2. Principales lecciones aprendidas

Además de los principios anteriormente enunciados, la experiencia internacional en la práctica del análisis coste beneficio permite recoger algunos problemas relevantes en la evaluación económica y la manera de evitar posibles errores en la aplicación de los principios económicos básicos. Dichas lecciones son las siguientes:

▶ LECCIÓN 1
Debe definirse claramente el proyecto, utilizando un caso base realista para la comparación: valorar todas las alternativas relevantes es tan importante o más que los cálculos posteriores

El primer paso para someter un proyecto a evaluación económica es preguntarse si dicho proyecto es el más adecuado para alcanzar el objetivo que se persigue. **El proyecto es un medio para alcanzar un fin determinado, no un fin en si mismo.** El objetivo es transportar las mercancías, no el construir un puerto nuevo o ampliar el existente. Construir una pista de aterrizaje nueva o realizar un plan de mantenimiento de la existente son opciones que sirven al mismo objetivo de permitir el aterrizaje y despegue de aeronaves.

Siempre deben considerarse las alternativas más razonables que existen para resolver un problema concreto y elegir la mejor. **La aplicación práctica del ACB requiere especial cuidado en lo que se refiere a la base de comparación.** Los beneficios de un proyecto se obtienen con relación a una referencia. Cuanto peor sea la referencia de comparación más atractivo aparecerá el proyecto.

Para evitar el riesgo de sobreestimación de los beneficios y el riesgo de sesgar la decisión pública en beneficio del promotor o del grupo de interés correspondiente, hay que analizar las distintas alternativas disponibles para conseguir el fin propuesto. **Recordemos que un VAN positivo no garantiza que estemos eligiendo la mejor opción.**

Un proyecto considerado de manera aislada, sin ver su función dentro de la política más amplia de la que forma parte, es difícilmente evaluable.

[3] "…Aunque creo en que es factible la utilización de la valoración contingente para medir el valor que las personas conceden al medio ambiente, no defiendo un estrecho análisis coste-beneficio para todas las decisiones públicas que afectan al medio ambiente, ni sugiero que todo puede o debería cuantificarse. Habrá casos en los que la información es inadecuada, exista demasiada incertidumbre, o las consecuencias demasiado profundas o complejas para reducirlas a un número". Hanemann, W.M. (1994): "Valuing the Environment through Contingent Valuation", *Journal of Economic Perspectives* 8 (4): 19-43.

Antes de aplicar las técnicas y métodos de evaluación económica conviene analizar las distintas alternativas disponibles para alcanzar el mismo objetivo. Los errores más notorios en la evaluación de proyectos no surgen de la aplicación de técnicas estadísticas inadecuadas sino de un análisis inadecuado de las alternativas disponibles.

La **definición** del proyecto y sus límites debe realizarse tratando de **evitar dos errores:**

- Primero, **delimitar bien el proyecto que se somete a evaluación.** A veces un proyecto está integrado por dos o más proyectos, unos rentables y otros no, proyectos perfectamente separables, y que al ir unidos su rentabilidad social media positiva, oculta proyectos que no deben realizarse.

- Segundo, cuando se presenta un proyecto incompleto, separado de otras actuaciones que se requieren para que el proyecto sea operativo (un puerto sin su carretera de acceso), debe tenerse en cuenta esta carencia, ya que **su rentabilidad puede parecer mayor de lo que en realidad es.**

El caso base es lo que ocurriría si el proyecto no se realizase: a veces la referencia relevante es "no hacer nada"; en otros casos, "hacer algo".

Por ejemplo, si el proyecto consiste en mantener una carretera, "no hacer nada" puede ser el caso base, mientras que si lo que se evalúa es la construcción de una nueva carretera que sustituya a la antigua, el caso base es "hacer algo", ese algo es el mantenimiento que se seguiría haciendo si no se construyera la nueva para evitar un deterioro mayor. En estas circunstancias, utilizar como caso base "no hacer nada" elevaría artificialmente los beneficios del proyecto.

Asimismo, si la demanda estuviese creciendo a un ritmo determinado como consecuencia de los incrementos de población y renta, en la evaluación del nuevo proyecto de inversión en nueva infraestructura que afecta a la existente, habría que partir de la demanda prevista *sin el proyecto* y, sobre dicha demanda, calcular los cambios producidos por la situación *con el proyecto*. Sólo el incremento de tráfico sobre el proyectado podría tratarse como demanda generada.

▶ LECCIÓN 2
En la evaluación debe compararse la situación "con" proyecto con la situación "sin" proyecto: para evaluar los cambios que supone su ejecución hay que predecir qué hubiese ocurrido si el proyecto no se hubiese realizado

Cuando un proyecto de transporte reduce el precio generalizado y aumenta la cantidad demandada durante la vida útil del mismo, hay que pensar que se ha producido un cambio de equilibrio que puede modificar sensiblemente las reducciones de coste inicialmente estimadas. La reducción inicialmente prevista del tiempo en la utilización de la infraestructura como consecuencia de un proyecto, puede ser muy diferente de la que finalmente se produzca dependiendo de cómo reaccione la demanda, y los costes, una vez que se cambia el equilibrio inicial.

La mayoría de los proyectos de transporte implican la reducción del coste de desplazar personas y bienes. El coste del transporte se reduce con inversiones en capacidad o nuevos trazados o instalaciones que permiten aumentar la productividad.

En la cuantificación de los ahorros esperados no basta comparar los costes de las dos tecnologías o de los dos niveles de capacidad, hay que predecir cuál será el comportamiento de la demanda y cómo el nuevo equilibrio determina los costes unitarios relevantes para la comparación.

El tiempo que un usuario invierte en utilizar el servicio o la instalación de que se trate, por ejemplo una carretera, viene determinado tanto por la oferta como por la demanda. Para una capacidad determinada, el coste medio puede ser constante o creciente cuando aumenta el número de usuarios. En el equilibrio todos los usuarios invierten el mismo tiempo. Un proyecto que reduce el coste de transporte beneficia a los usuarios

existentes en la reducción de dicho coste si la cantidad demandada no aumenta como consecuencia del ahorro de tiempo. **El beneficio final del proyecto depende de cómo la demanda generada al interactuar con la oferta afecta al coste medio de desplazamiento.**

A menos que la demanda sea fija, los ahorros de costes para los usuarios existentes no dependen sólo de la inversión (nueva tecnología, ampliación de capacidad, etc.), sino que el comportamiento de la demanda también es fundamental para determinar finalmente el beneficio social del proyecto. Con una demanda perfectamente elástica el beneficio de la ampliación de capacidad es nulo (suponiendo un ajuste automático al equilibrio inicial).

Podría pensarse que invertir en capacidad en estas circunstancias es siempre una mala política, sin embargo si se cobrase el coste marginal a los usuarios de la carretera se podrían materializar los beneficios sociales de proyectos de inversión cuando la demanda latente es suficiente para saturar la capacidad al coste inicial.

▶ LECCIÓN 3
La rentabilidad social y la financiera están estrechamente ligadas con la política de precios que se utilice durante la vida del proyecto

La decisión de inversión y la política de precios que se va a aplicar durante la vida del proyecto no pueden separarse. El *VAN* social y el financiero dependen de la política de precios que se utilice. Tres aspectos a tener en cuenta relacionados con la tarificación por el uso de las infraestructuras de transporte son los siguientes:

1. Para un nivel dado de renta, población y preferencias, el precio determina la cantidad demandada y esto afecta a los costes y beneficios. **Decidir el tamaño de la infraestructura y posteriormente plantearse si se cobra o no por su uso es invertir el proceso lógico.** En primer lugar hay que saber si se va a cobrar o no, y con qué estructura de precios, lo que afectará a la predicción de la demanda por el uso de la infraestructura y consecuentemente al tamaño óptimo de la misma y a los beneficios y costes esperados.

2. La participación privada en la construcción y explotación de los proyectos de infraestructuras depende del *VAN* financiero. **Los resultados financieros del proyecto dependen de los precios de acceso y utilización a la infraestructura, pero también el *VAN* social depende de dichos precios.** Cuando las indivisibilidades son altas y la inversión irreversible, los costes marginales de utilización de la capacidad son bajos con lo que es muy probable que haya que enfrentarse a la disyuntiva entre rentabilidad financiera y social al fijar los precios de utilización.

3. Incluso cuando existen fondos públicos disponibles para financiar el *déficit* de los proyectos socialmente rentables pero comercialmente deficitarios, **existe un límite a la cantidad de dinero público que debe destinarse a los mismos**. Dicho límite viene impuesto por el precio-sombra de los fondos públicos. Cuando el proyecto sólo tiene un único resultado eficiente posible, el criterio de aceptación se reduce a comprobar si la rentabilidad social por unidad monetaria invertida es superior al precio-sombra de los fondos públicos. Incluso cuando un proyecto presenta un *VAN* social mayor que cero, habría que contemplar, como si fuesen otros proyectos, distintas políticas de precios.

En presencia de restricciones presupuestarias, se trata de seleccionar los proyectos que generen un *VAN* social mayor, siempre que el volumen de inversión que implican sea compatible con los fondos públicos disponibles. A veces se evalúa como si los proyectos tuviesen un único *VAN*; sin embargo, en muchos proyectos pueden obtenerse varios resultados en función del nivel de servicio ofrecido o del precio cobrado.

▶ LECCIÓN 4
Si la incertidumbre de costes y demanda caracteriza a los proyectos de inversión en transportes, el método de evaluación debe incorporarla

Un proyecto típico de inversión en infraestructuras de transporte conlleva obras que duran varios años y una vida de la infraestructura que supera fácilmente los cincuenta años. Predecir con mínimo error los costes de

construcción y mantenimiento de la infraestructura y, sobre todo, **predecir con exactitud la demanda y los beneficios esperados durante la vida del proyecto es simplemente imposible**. Si la realidad no nos ofrece valores deterministas es preferible evaluar incorporando la incertidumbre desde el comienzo.

En lugar de utilizar variables deterministas, **en este *Manual* se opta por la utilización de distribuciones de probabilidad para las variables determinantes de la rentabilidad del proyecto**. No conocemos la demanda del proyecto, pero podemos, basándonos en la mejor información disponible, conjeturar dentro de qué rango y con qué probabilidad se comportará la cantidad demandada.

De esta manera, si bien no obtendremos un valor único para la rentabilidad esperada del proyecto, podremos tener una distribución de probabilidad de los valores actuales netos esperados, dados los valores plausibles de las variables claves del proyecto. Las reglas de decisión apenas varían y el decisor obtiene una información muy valiosa, a bajo coste, sobre el riesgo del proyecto y no sólo sobre su rentabilidad media.

La obtención de un único *VAN* puede dar una sensación de certidumbre errónea sobre la rentabilidad del proyecto. Un valor positivo para el *VAN* social esperado puede ser compatible con un conjunto de valores actuales netos negativos. Conocer que estos existen y la probabilidad asociada a su ocurrencia es una información útil para la toma de decisiones.

▶ LECCIÓN 5
Utilizar el coste de oportunidad de los recursos no debe ocultar las condiciones de mercado en las que se desenvolverá el proyecto

Si bien buscamos el coste de oportunidad del recurso y no su valor histórico o una anotación puramente contable, hay que tener en cuenta el contexto y las restricciones que afectan al proyecto. **La finalidad de utilizar precios-sombra es la de reflejar el verdadero coste de utilizar los recursos empleados en el proyecto.** Sin embargo, los ajustes para convertir precios de mercado de los *inputs* en precios-sombra no deberían ignorar el contexto en el que el proyecto surge y se aplica, y las restricciones del mundo real en las que el proyecto se materializa.

Al calcular la distribución de probabilidad del *VAN* social empleando precios-sombra, debe tenerse en cuenta previamente cuáles serán las implicaciones financieras de dichos resultados y cuáles serán las restricciones en dicho ámbito durante la vida del proyecto. **La utilización de precios-sombra exige tener en cuenta qué ocurrirá posteriormente durante la vida del proyecto.** El uso de precios-sombra puede convertir en económicamente viables proyectos que serían rechazados utilizando precios de mercado.

Un ejemplo que ilustra este problema es el siguiente: se está considerando la construcción de un puerto en una zona de desempleo estructural. Ante dos alternativas de inversión posibles, una intensiva en capital y otra más intensiva en trabajo, el uso de precios-sombra para el factor trabajo podría convertir en socialmente más rentable la construcción del puerto menos capital-intensivo y más demandante de mano de obra en su explotación.

Una vez construido el puerto, se entrega a la autoridad portuaria correspondiente con el objetivo comercial de cubrir costes de acuerdo con los precios de mercado. La paradoja surge al situar al puerto en una posición de desventaja con respecto a los puertos competitivos de orientación capital-intensiva.

Si la autoridad portuaria no recibe una subvención equivalente, que abarate el uso de factor trabajo (tal como se hizo en la evaluación *ex ante*), perderá trafico en beneficio de otros puertos más eficientes.

En la evaluación de este proyecto pueden ser utilizados precios-sombra, incluso en el caso de que no existan subvenciones destinadas a la reducción de los salarios de mercado. Ahora bien, si el puerto va a ser explotado posteriormente con criterios de mercado, la demanda debería estimarse con los precios que corresponden a los costes obtenidos con los *inputs* valorados a precios de mercado.

De igual manera, habría que considerar el efecto de la opción tecnológica inducida por los precios-sombra sobre competitividad del puerto. El hecho de tener que competir en el mercado internacional con instalaciones capital intensivas sería una restricción esencial a considerar durante la evaluación del proyecto con precios-sombra, especialmente al predecir la demanda.

▶ LECCIÓN 6
No todo impuesto es una transferencia, ni toda transferencia debe ignorarse

Una regla que se repite con frecuencia en la práctica del ACB es que los impuestos y subvenciones son transferencias de renta y que, por tanto, no cuentan en la evaluación económica de proyectos. **Esta regla, aunque generalmente cierta, puede conducir a error.**

Las transferencias generalmente se compensan en el ACB y por tanto no afectan al *VAN*, sin embargo no siempre lo que aparece como impuesto o subvención es una transferencia, y a veces las transferencias también han de contabilizarse. La confusión en torno al tratamiento de los impuestos y subvenciones en el ACB procede de las dos maneras en que pueden expresarse las corrientes monetarias de factores utilizados y productos (a coste de los factores y a precios de mercado) y las dos aproximaciones metodológicas para calcular el *VAN* del proyecto (mediante suma de excedentes[4] y mediante cambios en la utilización de recursos y en la disposición a pagar).

El expresar todos los *inputs* y *outputs* del proyecto a precios de mercado o a coste de factores (restando impuestos y sumando subvenciones) no afecta al resultado porque se trata de una simple elección del numerario en el que se expresan las unidades físicas de factores utilizados y productos o servicios obtenidos.

En este *Manual* preferimos expresar los costes y beneficios a precios de mercado[5] y, posteriormente, realizar las correcciones oportunas si estos precios no reflejan el coste de oportunidad. Es decir, la cuestión fundamental no es el numerario en el que expresamos las corrientes reales de recursos empleados y de productos obtenidos, sino reflejar lo más exactamente posible el coste de oportunidad de los recursos empleados (o liberados) por el proyecto y el valor social de los bienes obtenidos (o perdidos) con el proyecto.

Partiendo de todos los *inputs* y *outputs* expresados a precio de mercado sin inflación, veamos **algunos casos en los que los impuestos (o subvenciones) no se descuentan**:

1. Cuando el impuesto es un instrumento para **internalizar una externalidad**. El impuesto en este caso refleja un coste social, que aparece reflejado en el precio de mercado, y no es una transferencia de renta. Al incluirlo, hay que evitar la doble contabilización que significaría cuantificar separadamente el impacto negativo de la externalidad.

2. Cuando el **bien o servicio es de nueva creación**, la recaudación impositiva es un cambio en la disposición a pagar, al igual que los ingresos o el excedente del consumidor. Descontarlo sólo estaría justificado en el caso de pérdida equivalente de impuestos en otra actividad nacional, lo que no tiene por qué ocurrir por ejemplo, cuando existen diferencias en los tipos impositivos afectados, cuando la actividad desviada era producción extranjera o cuando la actividad primaria es generada pura.[6]

[4] Cuando se suman excedentes hay riesgo de doble contabilización, especialmente cuando el cambio de utilidad se mide mediante la variación compensatoria en preferencias declaradas y las preguntas no son suficientemente claras con respecto a qué se incluye en la disposición a pagar. Si en las preguntas no se ha pedido al individuo que excluya los cambios en renta e impuestos en la suma de todas las variaciones compensatorias estará incluido el cambio en el excedente de los productores (véase Johansson, P-O (1993): *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*. Cambridge University Press).

[5] Que a su vez pueden expresarse en unidades monetarias constantes (en términos reales) o en unidades monetarias corrientes (en términos monetarios incluyendo la inflación).

[6] Véase Abelson, P. y Hensher, P. (2001): "Induced Travel and User Benefits: Clarifying Definitions and Measurement for Urban Road Infrastructure", en Hensher D. y K. Button (eds.): *Handbook of Transport Systems and Traffic Control,* Handbooks in Transport, 3, Elsevier / Pergamon.

3. Cuando el **precio del factor** (impuesto incluido) **refleja su coste de oportunidad**. Éste es el caso de los *inputs* escasos que el proyecto desvía de otras actividades productivas y para los que el precio de mercado refleja el valor de la producción perdida en el mejor uso alternativo. El descontar el impuesto del precio del *input* que el proyecto utiliza desviándolo de otra actividad productiva ignoraría que el coste de oportunidad de dicho *input* es la disposición a pagar de la empresa reflejada en el precio de mercado, impuesto incluido. Este caso muestra que si bien el impuesto sobre la renta de las personas físicas es una transferencia, debe incluirse en el coste de oportunidad de utilizar el factor en el proyecto, ya que siendo una transferencia, representa al mismo tiempo parte del valor de la producción perdida en la actividad económica de la que desviamos dicho factor.

4. Cuando, como consecuencia del proyecto, **se expande o contrae la producción en mercados secundarios competitivos** en los que existen impuestos y subvenciones que no reflejan externalidades. Si como consecuencia del proyecto, existen mercados relacionados con el mercado primario en los que se desplaza su demanda debido a relaciones de complementariedad o sustituibilidad, se producirá un cambio en la recaudación impositiva. El cambio neto de recaudación refleja un cambio en la utilización de recursos o un aumento en la disposición a pagar, y si su magnitud se estima significativa y la información disponible lo permite habría que incluirlos en el proyecto.

▶ LECCIÓN 7
El empleo es un coste, no un beneficio

Si por razones de desempleo el coste es inferior al precio del mercado, el beneficio social de emplear a desempleados quedará reflejado en la evaluación mediante la utilización del precio-sombra. **La creación de empleo significa que se utilizan recursos en el proyecto, lo que no es un beneficio sino un coste.** Es cierto que un proyecto de inversión en una zona con paro involuntario tiene la virtud de emplear a parados con coste de oportunidad muy alejado del salario de mercado; sin embargo, en los costes del proyecto se habrá computado el empleo del trabajador no a su valor de mercado, sino a un precio-sombra inferior al salario.

La idea general que puede ayudar a evitar confusiones y doble contabilización es distinguir entre *outputs*, los productos o servicios que se obtienen gracias al proyecto, e *inputs*, que son los factores que la sociedad emplea para obtener los *outputs*, y que por tanto no pueden ser utilizados en satisfacer otras necesidades. Considerar la utilización de factor trabajo como un beneficio en lugar de un coste es confundir productos con factores. Si como consecuencia del bajo coste de oportunidad del factor trabajo corregimos el salario a la baja, el beneficio aparecerá en el *VAN* del proyecto. Todo lo demás es doble contabilización.

▶ LECCIÓN 8
Los proyectos justificados por los efectos indirectos que producen tienden a ser malos proyectos *ex post*

La regla más habitual con respecto a los efectos indirectos es ignorarlos, ya que la medición de los beneficios en el mercado primario afectado por el proyecto es suficiente para capturar los cambios de bienestar producidos. Esta regla general se basa en un supuesto fuerte: el resto de la economía opera en mercados competitivos en cuyo equilibrio la disposición a pagar marginal es igual al coste de oportunidad del bien. **Cuando existen distorsiones** (externalidades, impuestos o poder de mercado, por ejemplo) **esta igualdad no se cumple y los efectos indirectos sí deberían contabilizarse.**

La no contabilización de los efectos indirectos no tiene necesariamente por qué perjudicar al proyecto. El resultado neto depende de los mercados secundarios afectados por su relación con el proyecto, de la magnitud del efecto, del signo del impacto (complementariedad o sustituibilidad) y del signo de la distorsión.

En mercados competitivos, sin cambio de precios, los efectos indirectos no deben incluirse ya que, generalmente, el efecto de un aumento o disminución de la demanda en los mismos, por la complementariedad o sustituibilidad del bien o servicio analizado en el mercado primario, supone un ajuste marginal en dichos mercados, que absorberá el aumento de demanda con un aumento de recursos igual al aumento de ingresos, sin que se produzca cambio alguno en el excedente social.

Uno de los resultados más conocidos, en la evaluación de proyectos de inversión en infraestructuras de transporte es que, **si los efectos derivados de la mejora de los servicios de transporte, repercuten en mercados competitivos que utilizan dichos servicios como un *input*, podemos concentrar el esfuerzo de evaluación en el mercado primario de transporte afectado por el cambio**, ignorando lo que ocurre en los mercados que utilizan dichos servicios.

Lo anterior no quiere decir que las empresas que en otros mercados utilizan los servicios de transporte no se beneficien del proyecto que reduce el coste de transporte, ni tampoco que los consumidores no se beneficien de precios más bajos; se trata simplemente de evitar contabilizar dos veces el mismo efecto, ya que los beneficios de la reducción de dicho coste fueron evaluados en el mercado primario de transporte.

Suponiendo que disponemos de información en ambos mercados, podemos medir el efecto en el mercado primario, o alternativamente en el secundario, pero no sumar ambos (error por doble contabilización). En la práctica, es más sencillo medir el efecto en el mercado primario, ya que son varios los mercados secundarios que utilizan el transporte. Mercados para los que, generalmente, es mas complicado y costoso obtener la información necesaria.

Un resultado muy interesante y útil en la evaluación de proyectos de inversión que reducen el coste de transporte consiste en que **podemos concentrar nuestra atención en el mercado en el que se produce dicha reducción del coste de transporte y medir en este mercado el beneficio del proyecto, sin tener que preocuparnos de los cambios que se producen en los otros mercados** (siempre que éstos sean competitivos), que utilizan el servicio de transporte y en los que cambiará la cantidad de equilibrio como consecuencia del proyecto de inversión causante de la reducción del coste.

▶ LECCIÓN 9
El efecto multiplicador puede ignorarse y los efectos locales de las infraestructuras son difíciles de predecir *a priori*

El efecto multiplicador del proyecto sobre la economía puede ignorarse. En realidad los fondos públicos invertidos en cualquier otro proyecto producirían el efecto macroeconómico de generación de actividad económica superior a la cuantía inicial de la inversión.

Si con la evaluación económica se trata de identificar y cuantificar los efectos incrementales del proyecto con respecto al caso base, podemos suponer que el caso base ya tiene el mismo efecto multiplicador porque el importe de la inversión se habría destinado a otro proyecto en cualquier caso.

Podría discutirse que el efecto multiplicador no tiene por qué ser idéntico en todas las actuaciones del gobierno, pero con las restricciones de datos y recursos para realizar la evaluación parece razonable ignorar este efecto y concentrarse en los elementos determinantes de la rentabilidad social de los proyectos.

En cuanto a los efectos territoriales, **la evidencia no es concluyente para defender los proyectos de infraestructuras de transporte en general como elementos de desarrollo regional**, al menos aisladamente y sin especificar qué tipo de infraestructura, especialmente en lo que se refiere a su capacidad de articular el territorio de la región objetivo.

La localización de empresas y el aumento de la actividad económica es uno de los argumentos más utilizados en la defensa de proyectos de inversión en grandes infraestructuras que reducen los costes de transporte. Se supone que la construcción de autopistas o líneas ferroviarias que reduzcan los costes de transporte desde una región pobre a otra región más desarrollada permitirá un mayor crecimiento económico gracias a la facilidad de exportar y al mayor atractivo de la región pobre para que se instalen nuevas empresas.

Este argumento no está respaldado por la evidencia empírica. La mejora en las carreteras, líneas férreas, puertos o aeropuertos benefician a los dos sentidos en que puede realizarse el desplazamiento, no estando claro si la reducción de costes de transporte puede tener el efecto deseado en la región pobre. Los modelos que tratan de explicar la localización espacial de la actividad económica incluyen industrias con rendimientos crecientes, competencia imperfecta y la existencia de costes de transporte. A las ventajas comparativas hay que añadir diferencias en las dotaciones iniciales, y las características del mercado de trabajo para explicar por qué difieren las regiones centrales y las periféricas.

Cuando los costes de transacción y los de transporte son muy altos, es rentable para las empresas instalar sus centros de producción en varias regiones. El *trade-off* se produce entre las pérdidas de economías de escala y de aglomeración y las ganancias derivadas de evitar los altos costes de transporte. El grado de flexibilidad de los salarios y la movilidad de los trabajadores son dos variables esenciales para explicar si cabe esperar mayor concentración o mayor dispersión de la actividad económica, en los procesos de integración económica.[7]

La sobreestimación de los beneficios esperados de la inversión en grandes infraestructuras puede tener interés para los poderes locales o los grupos de presión que desean que el proyecto se apruebe en su región; sin embargo, desde una perspectiva de conjunto, no parece razonable introducir como beneficios unos efectos de localización de empresas más que dudosos y que podrían incluso ocurrir en la dirección contraria de lo inicialmente previsto. La denominada nueva geografía económica ha puesto de manifiesto que el efecto de la reducción de los costes de transporte en las regiones menos desarrolladas, no sólo depende de las características del proyecto, sino también del entorno económico.

▶ LECCIÓN 10
Los proyectos más grandes y los de última tecnología no son necesariamente los mejores

La inversión en infraestructuras y, mejor aún, en grandes infraestructuras, suele encontrar un amplio respaldo social. La actitud política favorable a las grandes obras de ingeniería civil y cierta mitificación de la tecnología, han alimentado la creencia consistente en que cualquier inversión en infraestructuras es deseable, especialmente si incorpora la última tecnología disponible. Parece como si los beneficios que se derivan para la economía fuesen independientes de los problemas concretos que resuelve dicha inversión. **Grandes proyectos de inversión en infraestructuras están asociados en la mente de la mayoría a la creación de riqueza y a la recuperación de las regiones más pobres.**

Aunque así ocurra en muchos casos, los economistas tienen hoy una visión más equilibrada del papel que desempeñan las infraestructuras en el funcionamiento del aparato productivo. Más equilibrada, porque el grueso de la primera oleada de trabajos que investigaban sobre la relación entre crecimiento económico e infraestructuras sobrestimó la magnitud de la contribución del capital público al crecimiento.

Más recientemente, las nuevas aportaciones han permitido matizar la entusiasta visión inicial, recordando que una cosa es el rendimiento medio y otra el marginal, que las direcciones de causalidad son discutibles, y que el efecto depende del tipo de actuación concreta que se realice, lo que exige una aproximación menos agregada y más microeconómica.

Existe evidencia de que la inversión pública en infraestructuras contribuye al crecimiento. El resultado más general, aunque no el único, es que existe una correlación positiva entre la dotación de capital público y el crecimiento, siendo la magnitud del impacto sensible a la dotación inicial.

En general, puede afirmarse que los países más desarrollados y equipados de capital público muestran efectos positivos mayores en la fase de capitalización más intensa que tiene lugar antes de los años setenta. Las dos razones que explican este hecho son:

- En primer lugar, la mayor **homogeneización de la provisión de capital público** a partir de dicha fecha, y
- En segundo lugar, **la naturaleza de red de la mayoría de las infraestructuras públicas**, lo que implica un mayor efecto en la fase inicial de instalación que en fases posteriores de ampliación.

Los resultados obtenidos presentan una gran variabilidad: el rango de las elasticidades obtenidas es tan amplio que abarca desde efectos positivos no creíbles, dadas las tasas internas de rendimiento del capital que implican, hasta efectos negativos. Los resultados no son independientes del *stock* de capital existente. Las

[7] Véanse Ottaviano, G.I. y Puga, D. (1998): "Agglomeration in the Global Economy: a Survey of the New Economic Geography", *World Economy*, 21, 707-731; Puga, D. (2002): "European Regional Policies in Light of Recent Location Theories", *Journal of Economic Geography* 2: 373-406; Vickerman, R. Spiekermann, K. y Wegener, M. (1999): "Accessibility and Economic Development in Europe". *Regional Studies* 33 (1): 1-15.

variables utilizadas para medir el *output* que proporcionan las infraestructuras son muy imperfectas. Las especificaciones de las funciones que se utilizan con generalidad suponen implícitamente que una unidad monetaria invertida en una infraestructura de transporte tendrá el mismo efecto en cualquier espacio con independencia de sus características geográficas, grado de congestión y dotación de infraestructuras existente en los distintos espacios.

Entre los múltiples problemas econométricos que se detectan en esta literatura, existe uno derivado de la dificultad de identificar las dos razones por las que se invierte en infraestructuras. Las dos buscan un mayor crecimiento de la producción, pero su signo en los coeficientes estimados de una función de producción como las que se utilizan habitualmente es distinto.

Si una mayor dotación se traduce en mayor crecimiento, el signo esperado de la elasticidad es positivo; sin embargo, si se invierte en infraestructuras por motivos de equidad territorial, el signo esperado sería negativo: a menor renta mayor inversión. La interpretación de un único coeficiente carecería de sentido económico.

Más aún, si muchas infraestructuras se construyen como consecuencia de los requerimientos de la mayor actividad económica, la dirección de causalidad se invierte y un único coeficiente estaría recogiendo efectos diversos y de signo contrario.

Existen otros problemas que se derivan de una reflexión microeconómica de este tipo de estudios agregados en los que en los *inputs* sumamos carreteras con aeropuertos, presas y red de alta tensión, y en el *output* sólo tenemos lo que se registra en la contabilidad nacional como producción, excluyendo por tanto la variación en el número de accidentes, parte de los cambios en la calidad, ahorros de tiempo y algunas externalidades, muy importantes en los proyectos de transporte.

Además de los efectos más llamativos a corto plazo, la inversión en infraestructuras resuelve problemas de crecimiento a largo plazo al elevar la productividad del capital privado y al constituirse en un factor de producción más, por el que en algunos casos no se paga según se usa sino a través del sistema impositivo.

No es infrecuente que se acometan proyectos cuya rentabilidad social *ex ante* es negativa. En este caso, las infraestructuras reducen el nivel de bienestar social, al constituirse en una carga, en sus gastos de construcción, explotación y mantenimiento para el conjunto de la sociedad, que no recibe a cambio beneficios que compensen la renuncia a consumo presente o a otros proyectos de inversión pública o privada que necesariamente han dejado de acometerse.

▶ LECCIÓN 11
Hay un sesgo histórico y sistemático a la subestimación de costes y la sobrestimación de demanda en transporte

Disponemos de evidencia que respalda la argumentación anterior: **se realizan proyectos que no deberían haberse realizado**. Existe un sesgo sistemático en la predicción de la demanda y en el presupuesto de los costes que van en la dirección anteriormente mencionada.

En el estudio realizado por Flyvbjerg, Skamris y Buhl,[8] consistente en comparar los costes presupuestados y los reales en 258 grandes proyectos de infraestructura (ferrocarril, puentes, túneles y carreteras) en veinte países diferentes durante setenta años, concluyeron que 9 de cada 10 proyectos presentaban costes mayores que los presupuestados (desviación media: +28%). En el caso de los ferrocarriles (desviación media: +45%); en túneles y puentes (desviación media: +34%); y para las carreteras (desviación media: +20%). Estas desviaciones se mantienen los últimos setenta años, lo que quiere decir que no se "aprende" con el paso del tiempo.

[8] Flyvbjerg, B. Skamris, M.K. y Buhl, S.L. (2003): "What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?", *Transport Reviews* 24 (1): 3-18.

Igual ocurre con la demanda. Skamris y Flyvbjerg[9] analizan 41 proyectos para detectar las desviaciones en los costes y la demanda. Su estudio incluye grandes proyectos de infraestructura y datos propios para Dinamarca. Los resultados muestran un sesgo no aleatorio en favor de los proyectos al producirse una desviación entre predicción y realidad que tiende sistemáticamente a predecir niveles de demanda muy superiores a los que después se materializan y a estimar costes muy inferiores a los que se incurre con posterioridad.

Las desviaciones sistemáticas elevan la rentabilidad *ex ante* de los proyectos, lo que lógicamente favorece la construcción de obras que no son socialmente rentables. La infraestructura innecesaria o inadecuada suele ser desproporcionada con relación a la necesidad que pretende resolver, es muy costosa y generalmente irreversible. Evitar este tipo de obra no es demasiado sencillo a menos que se modifiquen los incentivos actuales.

Mientras decisión y financiación estén separadas y no exista responsabilidad real sobre la mala asignación de los fondos públicos, es difícil evitar que se acometan proyectos que benefician a sus promotores a un coste excesivo para el conjunto de la economía. Reforzar el papel de la evaluación por agencias independientes y reclamar responsabilidad financiera a la institución que toma la decisión de inversión podría ayudar a evitar los errores más obvios y costosos.

En general, para que la política de infraestructuras beneficie a la mayoría de los ciudadanos, se requieren tres condiciones:

1. que los proyectos de inversión se sujeten a criterios estrictos de evaluación económica;

2. que se diseñe un mecanismo institucional que impida la disociación actual entre decisión de inversión y financiación;

3. que para su construcción, operación y mantenimiento, participe el capital privado, mediante contratos que repartan el riesgo de una manera eficiente, y que permitan los precios mas bajos posibles para su utilización o la menor carga a los contribuyentes.

Para obtener el máximo beneficio social de la inversión en infraestructuras no basta con acometer proyectos que sean técnicamente atractivos y viables, ni siquiera es suficiente que su rentabilidad social sea positiva. Una inversión en infraestructuras con fondos públicos limitados exige elegir los mejores proyectos entre los buenos, y una vez aprobados, que su construcción, mantenimiento y operación se realicen en el marco de contratos diseñados para asegurar que los usuarios y contribuyentes no paguen más de lo estrictamente necesario, sin que se comprometa la participación privada en el largo plazo.

A veces ocurre que con la información disponible y con las técnicas de predicción y evaluación a nuestro alcance la rentabilidad esperada (*ex ante*) no se corresponde con la rentabilidad alcanzada (*ex post*). En proyectos de inversión en grandes infraestructuras, cuya vida alcanza los treinta o cuarenta años, es posible que algunos proyectos no sean socialmente rentables *ex post*.

Cuando la rentabilidad social es negativa, conocida *ex ante*, y a pesar de ello se acomete la ejecución, **hay que indagar sobre las causas que provocan que en el sector público se tomen deliberadamente decisiones que reducen el bienestar social.**

¿Por qué se realizan proyectos con rentabilidad social negativa?

Bajo el supuesto de que el gobierno persigue el interés general, existen en general tres explicaciones posibles de por qué se llevan a cabo "obras faraónicas" o "elefantes blancos":[10]

[9] Skamris, M.K. y Flyvbjerg, B. (1997): "Inaccuracy in Traffic Forecasts and Cost Estimates on Large Transport Projects" *Transport Policy* 4 (3): 141-146.

[10] Utilizamos aquí el concepto de "obra faraónica" o el de "elefante blanco" para referirnos a los proyectos excesivos, muy costosos en su construcción y posterior explotación y poco justificados desde el interés general.

1. La primera se produce por el **conflicto de intereses entre el ámbito local y el global**. Una autoridad pública local, guiada por el interés de la comunidad a la que representa, tendría incentivos para acometer proyectos que no son socialmente deseables desde una visión global de la región o nación, siempre que sobre dicha comunidad local beneficiaria del proyecto no recayese la carga financiera del mismo y no sufriese los efectos negativos asociados a su puesta en marcha.

2. La segunda explicación se fundamenta en que algunos proyectos producen **beneficios a grupos privados que no han de hacer frente a los costes de ejecución y explotación del proyecto.** El hecho de que el sector privado se beneficie de la ejecución del proyecto es lo normal y deseable en la mayoría de los grandes proyectos de inversión en infraestructura, al constituirse en un factor de producción más por el que generalmente no se paga o, al elevar la productividad de los factores de producción privados. El problema surge cuando estos beneficios están lejos de justificar el coste de la inversión que supone el proyecto y, sin embargo, éste se lleva adelante por la presión de dichos grupos privados.

3. La tercera posible explicación está ligada a la existencia de **proyectos transfronterizos cuyos beneficios netos son positivos en el ámbito supranacional** (América Latina) pero cuya distribución por países es desigual e impide que lo que globalmente es bueno para el conjunto también lo sea en el ámbito nacional (o al menos así se perciba). Estos proyectos son especialmente interesantes desde la perspectiva de la integración económica regional y su evaluación ha de realizarse con atención a la distribución de los beneficios y cuidando que la contribución financiera nacional y multilateral responda al reparto territorial de las ganancias.

4. Finalmente, una **explicación económico-política** de porqué se construyen proyectos con rentabilidad social negativa reside en la dificultad de realizar promesas creíbles al electorado a cambio de votos, y como en estas circunstancias construir un "elefante blanco" es una forma de asegurarse los votos del grupo favorecido por el proyecto ineficiente, ya que es poco probable que el político que representa a otro grupo mantenga dicho proyecto ineficiente en funcionamiento. Una forma despilfarradora de redistribución de renta basada en que la naturaleza altamente ineficiente de dichos proyectos es lo que los convierte en políticamente atractivos.[11]

▶ LECCIÓN 12
Debe asegurarse lo mejor de la participación privada evitando sus problemas

La minimización de costes y la orientación hacia los intereses de los usuarios en la explotación de las infraestructuras exige utilizar la competencia *ex ante*. El diseño de un contrato adecuado que recoja con claridad las condiciones de explotación, precios, duración y la eventualidad de una renegociación o rescate es fundamental, si se desea evitar tanto la conducta oportunista de la empresa como la del regulador público.

Ambas disfunciones acabarían elevando inevitablemente los precios de los servicios suministrados, directamente o indirectamente al elevar el coste del capital, y en el peor de los casos imposibilitando la participación privada al crear un entorno demasiado arriesgado para los inversores.

En la medida en que hay que conseguir participación privada para la construcción y explotación de las infraestructuras y al mismo tiempo que dicha participación no suponga ineficiencias asociadas al ejercicio del poder de mercado, **se requiere el establecimiento de reglas de juego claras y firmes con el fin de eliminar incertidumbre y reducir el coste del capital**.

Uno de los retos principales de la regulación de las infraestructuras privatizadas es el modelo de contrato que se utiliza. Las características económicas de las infraestructuras y la incertidumbre de demanda actúan a través de los incentivos definidos por los contratos y el contexto local, definiendo los problemas que han experimentado los sistemas concesionales de plazo fijo en el mundo.[12]

[11] Robinson, J. A. y R. Torvik (2005): "White Elephants", *Journal of Public Economics*, 89, 197-210.
[12] Véase Guasch, J.L. (2005): *Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right*. WBI Development Studies, Washington DC. Para una discusión sobre la necesidad de adaptar los contratos al contexto local, ver Benavides, J. y A. Vives. (2005): "Public-Private Partnerships: from Plain Vanilla to Local Flavours", *Infrastructure and Financial Markets Review* 11 (2): 1-5.

Con respecto a los incentivos, se trata de diseñar un sistema tal que se elijan los mejores entre los rentables y asegurarse de descartar los proyectos que no son socialmente rentables, y en segundo lugar, de conseguir que se minimicen los costes de construcción y los de mantenimiento y explotación, para un nivel de calidad determinado, lo que permite el establecimiento de tarifas o peajes más bajos para los usuarios y menores cargas a los contribuyentes. Ambos objetivos son retos difíciles de conseguir ya que requieren de independencia de los grupos privados y voluntad política.

Por ello, finalmente, **hay dos vías de actuación pública que pueden ayudar a que aumente la rentabilidad social de la inversión en infraestructuras**:

- La primera consiste en evaluar *ex ante* los proyectos para seleccionar los mejores, y evaluar *ex post* los ejecutados, cuando la demanda se ha consolidado, se conocen los costes y es posible calcular la rentabilidad social con datos reales.

- La segunda consiste en diseñar contratos basados en incentivos para la participación privada y en introducir la nueva regulación económica, de manera que la actuación del gobierno no se limite a hacer atractiva la entrada del capital privado en estos negocios de largo plazo con riesgo de demanda, sino que también ayude a replicar el entorno competitivo, para que a las empresas les convenga ser eficientes y de ello se beneficien los consumidores y contribuyentes.

1.3. La hoja de ruta

A partir de los principios económicos y de las lecciones que se desprenden de la experiencia internacional en el terreno práctico de la evaluación de proyectos, el **Capítulo 2** de este *Manual* presenta la metodología para evaluar los proyectos de infraestructuras y servicios de transporte. En dicho capítulo, y comenzando con la formulación del modelo básico de flujos de beneficios y costes (**Sección 2.1**), se presenta el concepto de valor actual neto (*VAN*), tanto en su dimensión social como financiera; además se discuten los fundamentos económicos de la medición de los beneficios (**Sección 2.2**) y costes, subrayando el hecho de que en la mayoría de los casos se suele abordar la evaluación de un proyecto como la medición de los cambios que se producen en los excedentes de los agentes sociales y no en la determinación de los valores totales de dichos excedentes, lo que facilita notablemente el análisis. Asimismo, se insiste en que los cambios que introduce el proyecto deben medirse con respecto a un caso base dinámico que cambia con el paso del tiempo y el cambio de las variables económicas que determinan el nivel de demanda y los valores de elementos determinantes en la evaluación como el tiempo o el precio de los factores.

El mundo real al que pertenecen los proyectos de transporte está sujeto a incertidumbre, tanto en lo que se refiere a la cuantía de los costes y al volumen de demanda al que se espera hacer frente, cuanto al valor de algunos parámetros (valor del tiempo, por ejemplo) sobre los que sólo conocemos el rango probable en el que pueden situarse. Evaluar con incertidumbre desde el principio es lo más razonable si el contexto de evaluación no es determinista (**Sección 2.3**). En esta sección se describe el análisis de riesgo y se obtienen un conjunto de criterios de decisión en situaciones de incertidumbre. El modelo básico de evaluación se completa (**Sección 2.4**) con una discusión de qué precios deben utilizarse cuando los que nos ofrece el mercado no reflejan los costes de oportunidad. También se discute sobre la tasa social de descuento, la valoración de los bienes para los que no hay mercado, los efectos indirectos y los efectos distributivos.

Una ilustración de cómo aplicar la metodología se realiza en el **Capítulo 3**, donde se evalúa como ejemplo un proyecto consistente en la construcción de una nueva carretera y un túnel para reemplazar una ruta anterior, y cuyo efecto más significativo es el ahorro de tiempo de viaje. En este ejemplo se hace un recorrido aplicado por todas las cuestiones metodológicas presentadas en el capítulo anterior.

La evaluación de proyectos de inversión en puertos, aeropuertos, ferrocarriles, carreteras o transporte colectivo en autobús, requiere el conocimiento de aspectos específicos que no pueden incorporarse de manera exhaustiva en un *Manual* genérico como es éste; sin embargo, los temas específicos de predicción de demanda, la medición del tráfico inducido, la congestión o la valoración de los bienes para los que no hay mercado (como la contaminación o la seguridad) requieren un tratamiento mínimo que se realiza en el **Capítulo 4**. En

dicho capítulo se presentan algunos valores concretos del tiempo, accidentes o medioambientales que se han obtenido en los estudios más recientes, con el fin de utilizarlos como referencia, con las debidas cautelas y los ajustes pertinentes, cuando se carezca de valores propios para el proyecto concreto estudiado en cada caso.

El *Manual* concluye en el **Capítulo 5** con la discusión de tres casos reales de proyectos de transporte evaluados de acuerdo con la metodología descrita en el **Capítulo 2**. El primero es un proyecto de expansión de una carretera rural entre Lethem y Linden, en Guyana. El segundo consiste en la rehabilitación y mejora de la carretera entre Florianópolis y Osório, en Brasil, caracterizada por problemas de congestión y alta siniestralidad, mientras que en el tercero se evalúa la introducción de un nuevo sistema de transporte urbano en Managua (Nicaragua) mediante carriles y plataformas exclusivas para autobuses de alta ocupación.

Capítulo 2.

Metodología

2.1. El modelo básico

2.1.1. El modelo de evaluación

El modelo básico de evaluación económica de proyectos de inversión que presenta este *Manual* se fundamenta en el principio de que **la contribución de las infraestructuras al crecimiento económico de un país y su repercusión en el bienestar social no sólo depende del *stock* de capital agregado sino de su composición**. La inversión en mantenimiento y mejora de la red existente es tan útil como la construcción y explotación de capacidad adicional.

Hay que gastar bien, ya que los recursos asignados a proyectos para los cuales existen mejores alternativas implican un coste de oportunidad social que reduce el nivel de vida medio potencialmente alcanzable con los recursos disponibles.

La selección de los mejores proyectos que compiten por fondos públicos limitados tiene lugar en un contexto caracterizado por el **diferente origen de la financiación de la construcción y explotación de las infraestructuras y por problemas de información incompleta y asimétrica.**

La participación del capital privado

El capital privado participa a menudo en la financiación de las infraestructuras, aunque con distinto grado de implicación. El riesgo asumido por los inversores privados al intervenir en este tipo de proyectos y la obligación de los gobiernos de cuidar que dicha participación beneficie al interés general, requiere herramientas de evaluación que no sólo identifiquen y cuantifiquen beneficios y costes, sino que clarifiquen las implicaciones económicas para los distintos agentes de las distintas alternativas existentes.

Los problemas de información

Las decisiones de inversión y el propio proceso de participación privada tienen lugar en un contexto caracterizado por información incompleta y asimétrica. La incertidumbre sobre factores tales como la demanda futura o la evolución de los costes a medio y largo plazo, junto con la posibilidad de que los distintos agentes económicos (gobiernos, empresas y usuarios) tengan un diferente grado de conocimiento sobre estos factores, introducen un elemento de riesgo en el propio proceso de evaluación económica que debe considerarse desde el planteamiento inicial del proyecto.

El problema de información asimétrica obliga a considerar explícitamente los distintos incentivos de los agentes participantes en el proceso de selección. Los gobiernos nacionales y los regionales pueden tener intereses contrapuestos, especialmente si el esquema de decisión-financiación conduce a que, desde una perspectiva regional o nacional, se presenten proyectos al BID que no se hubiesen ejecutado exclusivamente con fondos propios. También puede ocurrir que proyectos interesantes desde el punto de vista supranacional no sean apoyados por aquellos gobiernos que no esperan un beneficio local significativo.

La introducción explícita de estos incentivos en el proceso de selección de inversiones podría contribuir a mejorar el resultado financiero de proyectos que son socialmente rentables. La construcción de obras faraónicas, las desviaciones sistemáticas de los presupuestos de inversión iniciales, el optimismo injustificado en la predicción de la demanda y la inadecuada conservación y operación de las infraestructuras construidas son mucho menos probables si quién decide presentar un proyecto ha de pagar por las pérdidas que se deban a un esfuerzo inadecuado por evitarlas o si los riesgos se asignan a los agentes que mejor pueden hacerles frente, de manera que su repercusión en los costes se minimice.

Un sistema de incentivos introducido desde el momento de la evaluación de los proyectos es la mejor garantía para que la estimación de su valor actual neto no quede en un simple ejercicio de cálculo de dudosa utilidad.

La presencia de asimetrías de información y de conflictos de intereses, así como la limitación de recursos en todo proceso de evaluación de proyectos, no aconsejan plantear en este *Manual* un modelo de análisis coste-beneficio de carácter determinista, en el que se suponga que quien toma la decisión de invertir dispone de toda la información necesaria para seleccionar los mejores proyectos, ya que ni siquiera tendremos certeza de que estos están en la cartera de proyectos sometidos a evaluación.

Por el contrario, este *Manual* persigue desarrollar **un modelo de análisis coste-beneficio para la evaluación de proyectos de transporte donde se considere explícitamente la presencia de incertidumbre como un elemento consustancial al proceso de selección y en el cual los incentivos de los agentes implicados también se tengan en cuenta.** Para ello será necesario resolver dos cuestiones previas que sirven de fundamento a nuestro modelo.

¿Qué proyectos realizar? ¿Bajo qué condiciones?

La defensa del crecimiento económico tiene su justificación última en la mejora de las condiciones de vida de los individuos. En las últimas décadas la inversión en capital público ha contribuido al crecimiento de la renta *per capita* y dentro del capital público, las infraestructuras de transporte son las que ofrecen una relación de causalidad con el crecimiento más clara e intensa.

La red de carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos de un país han sido y son infraestructuras esenciales que sustentan la infinidad de movimientos de mercancías y desplazamientos de los individuos que caracterizan a la sociedad moderna. Sin embargo, la inversión en infraestructuras debe dirigirse a resolver problemas reales. Hay que construir, ampliar o mejorar aquellas infraestructuras que añadan valor más allá de los efectos multiplicadores asociados a cualquier tipo de inversión.

La relación entre crecimiento económico y dotación de capital público ha sido ampliamente estudiada; y si bien existen rendimientos decrecientes y un efecto menos claro a medida que la red básica se va completando, los países en desarrollo están en la fase en la que el impacto sobre la economía de nuevas infraestructuras es más significativo.

Este *Manual* no pone el énfasis en la dotación agregada de las infraestructuras, sino en su composición. Un mismo *stock* de capital público puede estar asociado a diferentes niveles de vida de una sociedad, dependiendo de qué instalaciones y redes componen dicho *stock*, y con qué grado de eficiencia se mantienen y explotan. Esto se debe a que, a lo largo de su vida útil, cada infraestructura no sólo produce beneficios, sino que también genera costes.

Dado que el impacto de la constucción de la infraestructura sobre la demanda agregada de la economía es prácticamente común a cualquier otro proyecto de transporte, lo que importa en primer lugar es qué tipo de proyecto debe priorizarse y cuál debe descartarse, decisión que hay que tomar en un entorno de información asimétrica en la que diferentes administraciones tienen sus propios intereses, no siempre coincidentes.

Pero simultáneamente, esta decisión se ve afectada por cómo se financie el proyecto y se organice su explotación, por lo que **el modelo de evaluación debe intentar dar respuesta a dos cuestiones**:

1. De entre las alternativas disponibles, ¿qué proyectos de inversión deben realizarse?
2. ¿Quién (y cómo) debe pagar la construcción, mantenimiento y operación de los proyectos seleccionados?

La respuesta a estas cuestiones es crucial para el análisis

Habitualmente se considera que la primera decisión pertenece al ámbito de la ingeniería y la segunda al ámbito financiero o presupuestario. En cierto modo es así; desde un punto de vista técnico, son los ingenieros

quienes han de decidir si la realización de una determinada obra es viable o no con la tecnología disponible, evaluar la mejor manera de salvar los obstáculos naturales o determinar las diferentes posibilidades constructivas que puedan existir combinando distintos tipos de materiales y procedimientos.

Desde la perspectiva presupuestaria y financiera, la decisión de construir una infraestructura está muy influenciada por la disponibilidad de fondos para su construcción, mantenimiento y operación y por los acuerdos territoriales de reparto del presupuesto, además de otras restricciones políticas e institucionales.

La evaluación de proyectos desde una perspectiva económica tiene un planteamiento más amplio que la visión puramente financiera. La evaluación económica responde a la pregunta de qué gana la sociedad en términos netos cuando se lleva a cabo un proyecto de inversión determinado.

Pero no basta con que la infraestructura incorpore la última tecnología o sea útil para cumplir una finalidad determinada; no es suficiente con que los usuarios la valoren positivamente; ni siquiera que cubra sus costes con ingresos de explotación.

Se requiere un criterio de elección más exigente y que consiste en que, **cuando se trata de aceptar o rechazar un proyecto, los beneficios sociales que genere deben superar a los costes sociales**.

Podría pensarse que el cálculo del beneficio social es independiente del análisis financiero, ya que una cosa es lo que la sociedad esta dispuesta a pagar por la infraestructura y otra lo que paga. Sin embargo, para unos valores dados de población y renta, el precio que se fije por el uso de la instalación determina la cantidad demandada y por tanto los beneficios y costes sociales.

Es decir, la decisión de invertir o no, y los precios que van a cobrarse por el uso de la infraestructura van íntimamente ligados, de manera que, dependiendo de las políticas de precios, existirán distintas combinaciones de rentabilidad social y financiera.

2.1.2. El valor actual neto de un proyecto

El **punto de partida** para la evaluación económica de un proyecto de inversión cuyos beneficios y costes se distribuyen a lo largo de cierto número de períodos en el futuro (desde t=0 hasta t=T) consiste en **determinar cuál es el valor actualizado** (en el momento en el que debe tomarse la decisión) **de la suma de dichos beneficios menos los costes**. Esto es lo que se denominaremos **valor actual neto** (*VAN*).[13]

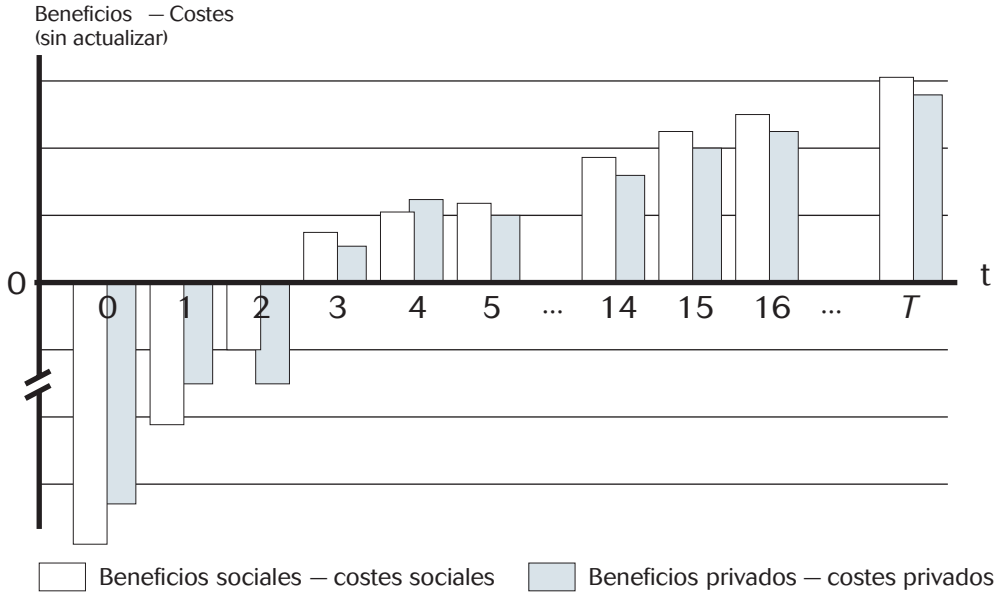
Para ilustrar este concepto, la **Figura 2.1** representa la estructura temporal de un proyecto de inversión en una infraestructura. Como puede observarse, el proyecto consiste en una sucesión de flujos monetarios positivos (beneficios) y negativos (costes) que se suceden a partir de una inversión inicial realizada en el período t=0.[14]

Tanto los beneficios como los costes pueden evaluarse desde el punto de vista privado como social, perspectivas que generalmente no coinciden en los proyectos de transporte:

- mientras que los beneficios sociales reflejan la valoración total de un determinado producto o servicio por parte de los individuos, el beneficio privado suele ser menor, ya que se limita a los ingresos obtenidos por parte de las empresas que producen o prestan dichos servicios. Por otra parte, los ingresos que se contabilizan como beneficio privado pueden incluir transferencias por subvenciones o por desviación de tráfico de otras empresas, sin mejoras de eficiencia, que hace que el beneficio social sea inferior al privado. La combinación de ambas razones hace que los beneficios privados puedan ser mayores o menores que los beneficios sociales.

[13] En la literatura hispanoamericana se utiliza a menudo el término equivalente **valor presente neto** (*VPN*).
[14] Las inversiones realizadas durante el resto de períodos, incluyendo las de mantenimiento y reposición, se incluyen en los flujos de costes de los años correspondientes.

Figura 2.1. Estructura temporal de un proyecto: beneficios y costes



- de igual forma, los costes sociales se calculan añadiendo a los costes privados todos los efectos externos (por ejemplo, la contaminación atmosférica o el ruido) que normalmente no son considerados por las empresas que elaboran el producto o prestan el servicio. En ocasiones, el coste de oportunidad de los recursos utilizados difiere del precio de mercado (por ejemplo, cuando existe desempleo), lo que disminuye los costes sociales. La combinación de ambas razones hace que los costes privados puedan ser mayores o menores que los costes sociales.

Formalizando el modelo básico

El modelo básico de evaluación de este *Manual* puede resumirse en dos expresiones formales: una para calcular el beneficio social *neto* del proyecto (***VAN* social**) y otra para calcular el resultado financiero del mismo (***VAN* financiero**). Las dos están vinculadas por la política de precios que se aplique y, por tanto, la discusión sobre la evaluación económica de un proyecto de inversión debe realizarse simultáneamente con su análisis financiero.

De esta manera, las expresiones del *VAN* social y del *VAN* financiero que corresponderían al proyecto representado en la **Figura 2.1** son las siguientes:

$$VAN_s = -I_0 + \frac{BS_1 - CS_1}{1+i} + \frac{BS_2 - CS_2}{(1+i)^2} + ... + \frac{BS_T - CS_T}{(1+i)^T} \qquad (2.1)$$

$$VAN_f = -I_0 + \frac{p_1q_1 - CP_1}{1+i} + \frac{p_2q_2 - CP_2}{(1+i)^2} + ... + \frac{p_Tq_T - CP_T}{(1+i)^T} \qquad (2.2)$$

donde:

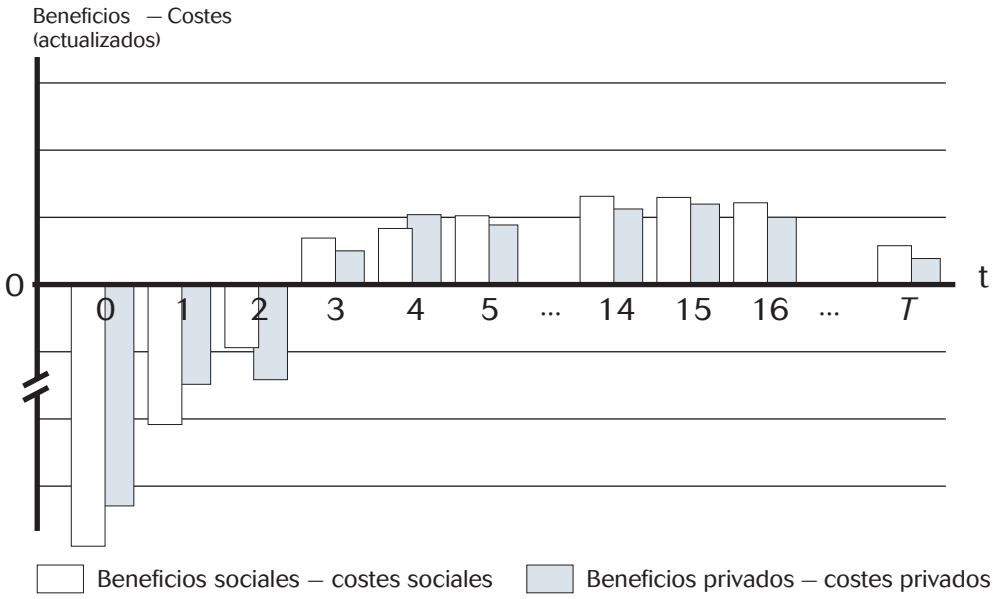
VAN_s:	Valor actual neto social	$BS_1,..., BS_T$:	Beneficios sociales anuales.
VAN_f:	Valor actual neto financiero	$CS_1,..., CS_T$:	Costes sociales anuales
I_0:	Costes de inversión en el año base	$p_1q_1,..., p_Tq_T$:	Ingresos anuales
T:	Duración del proyecto	$CP_1,..., CP_T$:	Costes privados anuales
i:	Tasa de descuento		

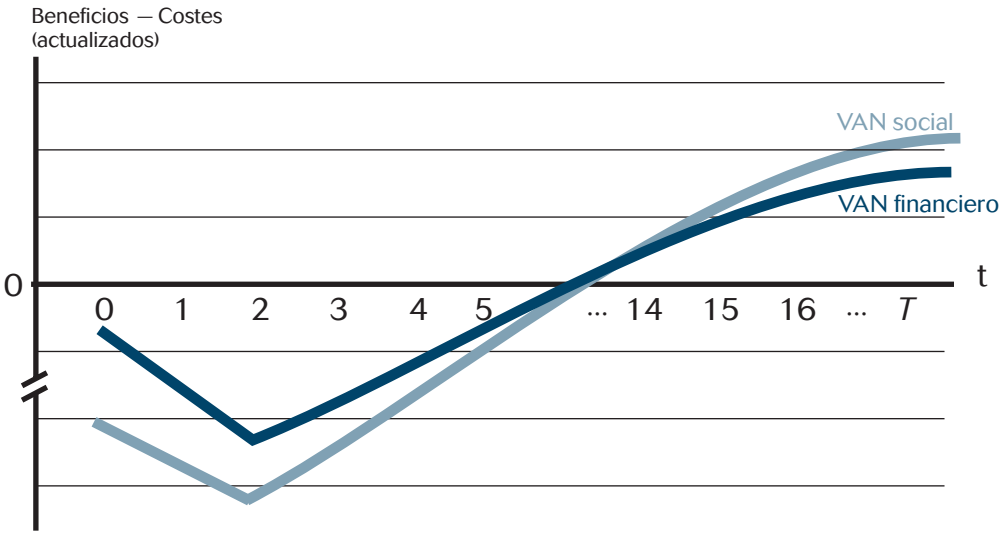
Relación entre el VAN social y el financiero

Las expresiones (2.1) y (2.2) muestran que el *VAN* social y el *VAN* financiero están estrechamente relacionados: el primero engloba al segundo, pero éste matiza la interpretación del primero.

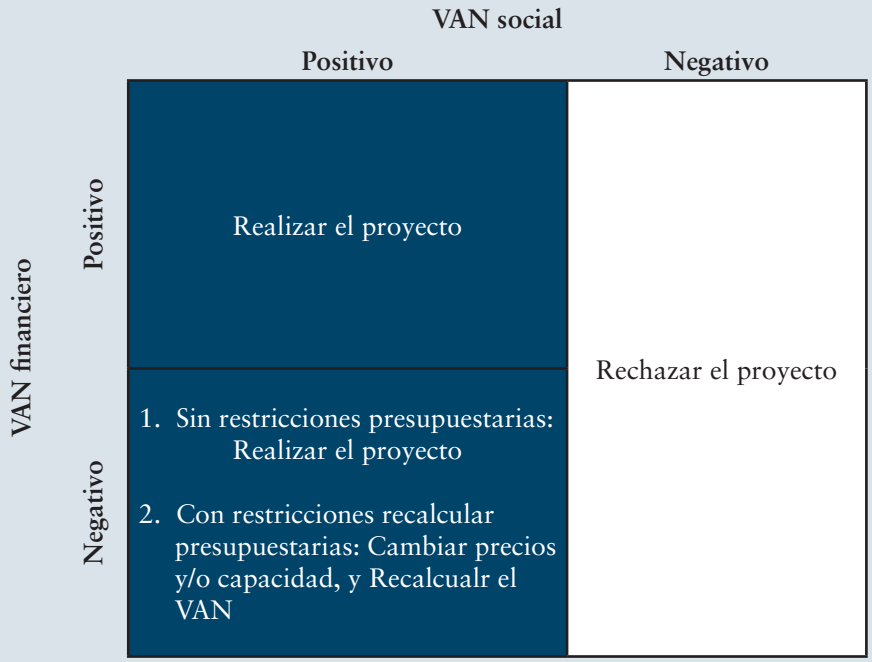
Como puede observarse en la parte inferior de la **Figura 2.2**, tanto el *VAN* social como el *VAN* financiero del proyecto anterior crecen a lo largo del tiempo, reflejando el hecho de que los beneficios (sin actualizar) suelen ser mayores a medida que el proyecto comienza a producir resultados, mientras que el mayor desembolso de costes suele realizarse al comienzo, en el momento de la inversión. Sin embargo, la diferente composición de los mismos hace que el *VAN* social y el *VAN* financiero no generen el mismo resultado, ni cuantitativamente ni cualitativamente.

Figura 2.2. Relación existente entre el VAN social y el VAN financiero





Cuadro 2.1. Criterios de decisión en ausencia de incertidumbre



Criterios de decisión sin incertidumbre

Teniendo en cuenta la relación existente entre ambos, y en condiciones de ausencia de incertidumbre, al evaluar un proyecto de inversión utilizando el *VAN* social y el *VAN* financiero, **los resultados de ambas expresiones son relevantes**, como se resume en el **Cuadro 2.1**.

Así, cuando el *VAN social es negativo* el proyecto no debe llevarse a cabo, ya que la suma actualizada de sus beneficios sociales (los cuales incluyen los beneficios privados) no resulta suficiente para compensar la suma descontada de sus costes sociales (los cuales incluyen los costes privados). Cuando el *VAN social es positivo*, el proyecto debe realizarse sólo si el *VAN* financiero es positivo o si, siendo éste negativo, no existen restricciones presupuestarias.

En caso de que existieran tales restricciones, sería recomendable estudiar las posibilidades de modificar los ingresos y costes privados mediante diferentes políticas de precios y nivel de servicio, por ejemplo, con el fin de obtener un nuevo *VAN* financiero, esta vez positivo.

Simplificaciones del modelo

El modelo de evaluación planteado por las expresiones (2.1) y (2.2) requiere identificar y medir los beneficios sociales, costes sociales y costes privados asociados a la realización de un determinado proyecto (lo que denominaremos a partir de ahora **situación 1**), lo cual no siempre resulta sencillo.

Como en la mayoría de los casos un proyecto supone modificar una situación inicial (denominada **situación 0**), la evaluación puede realizarse también como una variación en los beneficios y costes en lugar de determinar los valores totales, lo que facilita notablemente el análisis. Incluso cuando se trata de la creación de una infraestructura nueva, es posible formular el problema como la variación en las condiciones de transporte en el corredor existente.

Cualquiera que sea la aproximación elegida, conviene insistir en la idea de que un modelo de evaluación como el propuesto necesariamente se basa en una simplificación de la realidad.

El modelo de evaluación económica que presenta este *Manual* no pretende recoger todos los elementos que determinan la decisión final, pero sí **intenta capturar aquellos elementos que resultan relevantes desde una perspectiva económica**, dejando a un lado algunos elementos institucionales o políticos de difícil modelización. Por todo ello se busca la máxima simplificación posible sin llegar a perder el rigor necesario para alcanzar conclusiones útiles.

El análisis coste-beneficio es economía aplicada, con cimientos teóricos sólidos, pero respondiendo a problemas prácticos con datos no siempre completos ni perfectos y con recursos limitados para realizar el trabajo. Su finalidad, además, es aportar información económica sobre proyectos de inversión que no esperarán por un ajuste más exacto a la teoría o por que se recopilen los datos que idealmente el analista desearía.

2.1.3. La relación entre el VAN social y el VAN financiero

¿Pueden coincidir ambos valores en los proyectos de transporte?

Aunque la decisión sobre un proyecto debe tener en cuenta ambos valores, **el *VAN* social y el *VAN* financiero representan dos formas distintas de enfocar la evaluación.** Una manera interesante de ver por qué no coinciden en la mayoría de los casos consiste en estudiar qué condiciones deben concurrir para que coincidan.

Supongamos, por ejemplo, que analizamos un mercado competitivo de transporte de mercancías por carretera, cuya oferta esta integrada por cientos de miles de empresas de distinto tamaño que obtienen beneficios normales. Inicialmente, no existen distorsiones en el funcionamiento de este mercado, por lo que los precios y cantidades de equilibrio se formarían a partir de la libre interacción de esta oferta con la demanda.

Considérese ahora que el gobierno proyecta crear una nueva empresa pública de transporte de mercancías ofreciendo el mismo servicio que las empresas ya existentes y cobrando por este servicio el precio de mercado. **¿Cuál sería el beneficio social de este proyecto?**

En las circunstancias descritas es inmediato deducir que los usuarios del transporte no estarían dispuestos a pagar por el servicio ofrecido por la nueva empresa un precio mayor que el fijado por el mercado, ya que cualquier otra empresa les ofrece un servicio sustitutivo perfecto por dicho precio. La disposición total a pagar coincide por tanto con los ingresos y, al no haber distorsiones, los costes privados y sociales son idénticos. **En la evaluación de este proyecto el *VAN* social y el *VAN* financiero coinciden y son iguales a cero.**

¿Por qué difieren el VAN social y el financiero?

Sin embargo, muchos supuestos contenidos en la argumentación anterior no se cumplen habitualmente en los proyectos de transporte, por lo que el *VAN* social y el financiero difieren y resulta necesario analizar ambos. Esto ocurre cuando se cumple alguna de estas circunstancias:

1. **Cuando una infraestructura de transporte ahorra tiempo de viaje, la disposición a pagar por dicho ahorro excede los ingresos que el operador es capaz de recaudar.** En el caso extremo de una carretera libre, es decir, sin peajes, esta diferencia es máxima. Además, también hay que incluir en el análisis económico los beneficios de todos los individuos afectados por el proyecto, aunque no sean usuarios (o lo sean de otros modos de transporte), y no sólo los que se generan en la infraestructura construida o ampliada, como ocurre con el análisis financiero.

2. En lo que concierne a la expresión monetaria de los costes y beneficios, en el análisis coste-beneficio, los costes de construcción, mantenimiento y operación han de valorarse a su **coste social de oportunidad**, definido como lo que la sociedad pierde en la mejor alternativa disponible para los recursos destinados al proyecto. El precio de mercado de los *inputs*, que es el utilizado en el análisis financiero, no siempre coincide con este coste de oportunidad (por ejemplo, cuando existen impuestos, subvenciones o desempleo). Una vez que se conocen las cantidades de factores a emplear hay que utilizar un precio que refleje el coste de oportunidad.

3. También hay que añadir las **externalidades** que se produzcan como consecuencia de la ejecución del proyecto. Cuando los efectos del proyecto desbordan los límites del mercado primario analizado y afectan significativamente a los costes o a la demanda de otros mercados secundarios, el análisis financiero simplemente los ignora si no repercuten en las cuentas del propio proyecto. En el análisis coste-beneficio algunos de estos efectos cuentan, y si se ignoran es porque, o bien ya han sido contabilizados en el mercado primario, o no suponen cambios netos de bienestar.

4. Finalmente, en la actualización de los flujos de beneficios y costes también pueden existir diferencias. En el financiero se actualizan los flujos de ingresos netos con el coste del capital, que puede ser el tipo interés de mercado y una prima de riesgo. **La presencia de impuestos sobre el ahorro y el rendimiento del capital provocan que la tasa social de descuento no coincida con la tasa de descuento privada.**

2.1.4. El flujo de beneficios y costes en el VAN

Beneficios y costes: ¿en términos reales o monetarios?

Tanto en el *VAN* social como en el financiero los beneficios y costes del proyecto se expresan en magnitudes monetarias correspondientes a diferentes momentos del tiempo. **Cuando la expresión monetaria de la corriente de costes y beneficios cambia como consecuencia de la inflación, lo más habitual es ignorar ese cambio puramente monetario que no afecta a los valores reales durante la vida del proyecto.**

El análisis coste-beneficio trata de evaluar si los recursos reales que la sociedad sacrifica para un proyecto determinado están compensados por beneficios suficientes de acuerdo con las preferencias sociales entre presente y futuro.

Es indiferente trabajar con los datos expresados en unidades monetarias constantes o corrientes. Generalmente, los flujos de beneficios y costes se expresan en unidades monetarias constantes del año base: es decir, en términos reales, ignorando la inflación. El analista no suele estar interesado en la evolución de los valores nominales, sino en la utilización de recursos y en la generación de beneficios asociados al proyecto.

No obstante, hay al menos **dos razones por las que puede ser preferible trabajar con datos expresados en unidades monetarias corrientes:**

1. cuando todos los datos originales vienen expresados en dichas unidades (reflejando cambios reales e inflación) y la presentación del proyecto puede ser mejor entendida en términos monetarios.

2. cuando la dimensión financiera del proyecto así lo exige. Este es el caso, de creciente importancia, de las obras de infraestructura en las que los usuarios pagan por el uso y en las que el sector privado participa como gestor o como concesionario.

También puede ocurrir que los precios de algunas partidas del coste del proyecto evolucionen por encima o por debajo de la inflación general. En este caso, habría que contabilizar la diferencia.

Por ejemplo, supongamos que la inflación prevista para los 20 años de vida del proyecto es del 2%, y que la evolución prevista del precio de una materia prima utilizada en cantidades significativas en el proyecto es del 5%, reflejando la inflación y su coste de oportunidad. Al expresar las variables en unidades monetarias del año base corregiríamos solo el elemento general de inflación. Para proyectos de larga duración, distinguir la evolución particular de cada elemento de coste no es siempre posible.

El VAN en términos monetarios y en términos reales

La relación de equivalencia entre el *VAN* en términos reales y el *VAN* en términos nominales viene determinada por la siguiente igualdad:

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{BS_t - CS_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{T} \frac{(BS_t - CS_t)(1+m)^t}{(1+i_n)^t} \tag{2.3}$$

donde:

BS_t:	Beneficios sociales en términos reales.
CS_t:	Costes sociales en términos reales.
m:	Tasa de inflación anual.
i:	Tasa de descuento (real).
i_n:	Tasa de descuento (nominal).

A partir de la expresión (2.3) se obtiene la igualdad:

$$\frac{1}{1+i} = \frac{1+m}{1+i_n} \tag{2.4}$$

que permite despejar la tasa de descuento real o nominal según convenga. Por ejemplo, si la tasa de descuento real es de 0,10 y la inflación es de un 0,04, y los flujos de beneficios y costes están expresados en términos nominales, la tasa de descuento nominal será:

$$i_n = i + m + (im) \tag{2.5}$$

La expresión (2.5) muestra que sumar simplemente la inflación a la tasa de descuento real para obtener la nominal no es un procedimiento exacto. Con los valores anteriores (2.5) la tasa de descuento nominal es del 0,14 si sumamos la inflación a la real, mientras que si aplicamos (2.5) la tasa de descuento nominal es del 0,144; casi medio punto porcentual superior.

Finalmente, y de acuerdo con lo anterior, para calcular la tasa de descuento real conociendo la nominal y la inflación, puede utilizarse la siguiente expresión:[15]

$$i = \frac{i_n - m}{1+m} \tag{2.6}$$

La mejor recomendación en este terreno es ser consistente y asegurarse que los flujos de beneficios y costes estén expresados en los mismos términos que la tasa de descuento.

2.2. Medición de beneficios y costes

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos de la medición de los beneficios y costes a partir de los cambios experimentados en el denominado *precio generalizado* de las actividades de transporte en una infraestructura en la que tras la ejecución de un proyecto se reduce el tiempo de viaje. Inicialmente se supone que no hay ni impuestos ni externalidades; una vez obtenida la expresión para la medición de los beneficios de una reducción del tiempo de viaje en el caso más simple, se introducen los impuestos y subvenciones, y las externalidades.

[15] Si la predicción de inflación (m) no fuera una tasa constante a lo largo de la vida del proyecto, habría que aplicar la expresión (2.5) a cada año en el que la inflación cambie. Lo mismo habría que hacer si, con una tasa de inflación constante, se utilizasen diferentes tasas de descuento reales. Este último es un caso poco probable, aunque no descartable en proyectos con efectos significativos sobre el medio ambiente, el riesgo de muerte y con efectos sobre generaciones venideras.

Cuadro 2.2. Principales beneficios y costes en proyectos de transporte

1. Reducción del tiempo total de viaje, ya sea esperando, en el vehículo o en el acceso/salida de las paradas, estaciones o terminales. Esta reducción de tiempo de viaje puede tener su origen en: un aumento de la velocidad, de la frecuencia, por cambios en la red, por reducción en congestión o en escasez.
2. Ahorros en los costes operativos de la infraestructura o de los vehículos e instalaciones como consecuencia de los efectos del proyecto en mercados relacionados.
3. Mejoras en la calidad o la fiabilidad de los servicios de transporte ya existentes.
4. Disposición a pagar del tráfico de nueva generación.
5. Reducción de accidentes y pérdida de vidas.
6. Externalidades (positivas y negativas).
7. Costes de inversión del proyecto.
8. Variación en los costes de mantenimiento y explotación.

2.2.1. Beneficios y costes de un proyecto de transporte

Cuando se ignoran las transferencias para evitar la doble contabilización (véase **Capítulo 1**), **los principales beneficios y costes asociados a la construcción y explotación de un proyecto de transporte** pueden encuadrarse en alguna de las categorías resumidas en el cuadro siguiente.

Posteriormente, en la **Sección 2.3** se analizará el papel de la incertidumbre, completándose finalmente este capítulo con cuestiones más específicas sobre el modelo básico (**Sección 2.4**). En el **Capítulo 3** discutiremos un ejemplo que servirá para ilustrar de forma práctica cómo se aplica el modelo a un caso consistente en la construcción de una carretera y un túnel que ahorran tiempo de viaje con relación a la ruta existente, modificando también los costes operativos de los vehículos e infraestructura y reduciendo el número de accidentes. Por último, los principios generales de estimación de las principales categorías de beneficios, así como algunos ejemplos de posibles valores de variables relevantes transferibles desde la experiencia internacional se recogen en el **Capítulo 4**.

Notación matemática

Veamos a continuación cómo se obtienen las **expresiones básicas para poder cuantificar los beneficios y costes sociales de un proyecto de transporte.** En el análisis que sigue utilizaremos los superíndices 0 y 1 para referirnos respectivamente a la **situación 0** (sin proyecto) y la **situación 1** (con proyecto).

Por su parte, los subíndices siempre tendrán una connotación temporal. De esta manera, por ejemplo, una variable como p_1^0 se interpretaría como "el precio que habría que pagar en el período t=1 si no se realizase el proyecto", mientras que p_1^1 correspondería al precio en dicho período pero considerando que el proyecto sí ha sido realizado.

2.2.2. Fundamentos de la medición de beneficios sociales en el transporte

Existen **dos procedimientos alternativos** para estimar el cambio en el excedente social asociado a la realización de un determinado proyecto de inversión:

▶ Método 1: calcular la suma de las variaciones en los excedentes obtenidos por los diferentes grupos sociales afectados por el proyecto

Este procedimiento consiste en estimar los cambios en los excedentes de los diferentes agentes sociales que se producen tras la realización del proyecto. **Para cada grupo social se calcula la diferencia entre lo que gana y lo**

que pierde cada agente con la ejecución del proyecto, es decir, al pasar de la **situación 0** a la **situación 1**. Esta diferencia es una manera de estimar lo que estarían dispuestos a pagar por dicho proyecto. Después se suman todos los excedentes, de manera que el saldo positivo o negativo habrá eliminado las transferencias de renta de unos grupos a otros.

▶ Método 2: calcular los cambios en la disposición a pagar y en la utilización de recursos por parte de los implicados en el proyecto

Este método consiste en **calcular los *cambios* en la disposición a pagar y en la utilización de recursos por parte de los usuarios y otros agentes económicos implicados en el proyecto** (empresas privadas, gobierno, etc.), ignorando las transferencias entre ellos. Con este método hay que olvidarse de la identificación de los cambios en los excedentes de los grupos afectados y concentrarse en si el proyecto ha cambiado la disposición a pagar de los usuarios y en si el coste de los recursos empleados ha cambiado al pasar de la **situación 0** a la **situación 1**.

¿Cuál de los dos métodos es mejor?

No existe una respuesta única a esta cuestión. **El uso incorrecto de cualquiera de ellos conduce con facilidad a doble contabilización.** En todo caso, debe subrayarse que, una vez que se opta por uno de los métodos, hay que ajustarse al enfoque elegido: o se utiliza la vía de calcular los cambios en los excedentes de los agentes sociales o, ignorando las transferencias de renta, el cálculo se dirige a los cambios en la disposición a pagar y en la utilización de recursos. **El mejor procedimiento depende del problema a resolver en cada caso** y de la información disponible.

En muchas ocasiones la elección depende de la desagregación de la información disponible. Con buena información, la suma de excedentes permite identificar a ganadores y perdedores, así como las cuantías de sus pérdidas y ganancias, lo que suele ser de gran utilidad para tomar una decisión que no se limite al objetivo de eficiencia. **Puesto que los dos métodos de cálculo son equivalentes, puede ser recomendable, cuando sea posible, utilizar ambos en la evaluación, con el fin de detectar posibles errores.**

En general, un criterio de actuación aconsejable en todos los casos consiste en **preguntarse siempre qué obtiene la sociedad con el proyecto y qué le cuesta obtenerlo.** Al ser probable incurrir en doble contabilización es recomendable separar los beneficios brutos del proyecto de los costes en los que se incurre para llevarlo a cabo, entendiendo por "beneficio bruto" todos los cambios (positivos y negativos) producidos en el bienestar de los grupos sociales afectados. Esta medición del bienestar se realiza partiendo del concepto de precio generalizado.

El concepto de precio generalizado

Consideremos una determinada infraestructura o servicio de transporte, cuya demanda de utilización diaria por parte de los usuarios depende inversamente de su *precio generalizado* (g). El precio generalizado viene dado por la expresión:[16]

$$g = p + z + v\tau \tag{2.7}$$

donde p es el importe (tasa, peaje, tarifa o billete) pagado por el usuario por cada viaje, z es el coste variable medio de utilizar el equipo móvil por parte del usuario,[17] τ es el tiempo total invertido en el viaje y v representa el valor unitario del tiempo de viaje, en términos monetarios.

La demanda de transporte está relacionada de manera inversa con el precio generalizado: cuanto menor (mayor) sea el precio generalizado un mayor (menor) número de usuarios desearán utilizar esta infraestructura.

[16] Habitualmente el *precio generalizado* incluye además otros factores relacionados con la valoración económica de la calidad del servicio (comodidad, puntualidad, etc.). Para simplificar consideraremos que estos factores no cambian sustancialmente *con* o *sin* el proyecto.

[17] En el transporte público, z=0. En el transporte privado por carretera, z refleja el coste medio (por viaje) del mantenimiento y operación del vehículo (repuestos, combustible, etc.). Dependiendo del horizonte temporal, este coste incluirá o no los costes fijos (impuestos y licencias).

Cuando vemos a g como la distancia de la curva de demanda al eje horizontal, tenemos la representación de la valoración máxima que cada usuario concreto atribuye a la realización de su viaje, es decir, su disponibilidad a pagar por el mismo. Por tanto, la función de demanda de viajes representa, de izquierda a derecha, una ordenación decreciente de valoraciones individuales, siendo $\bar{g}$ lo máximo que pagaría el usuario con mayor disponibilidad a pagar por el uso de esta infraestructura o de este servicio de transporte.

Beneficio social de una nueva infraestructura o servicio

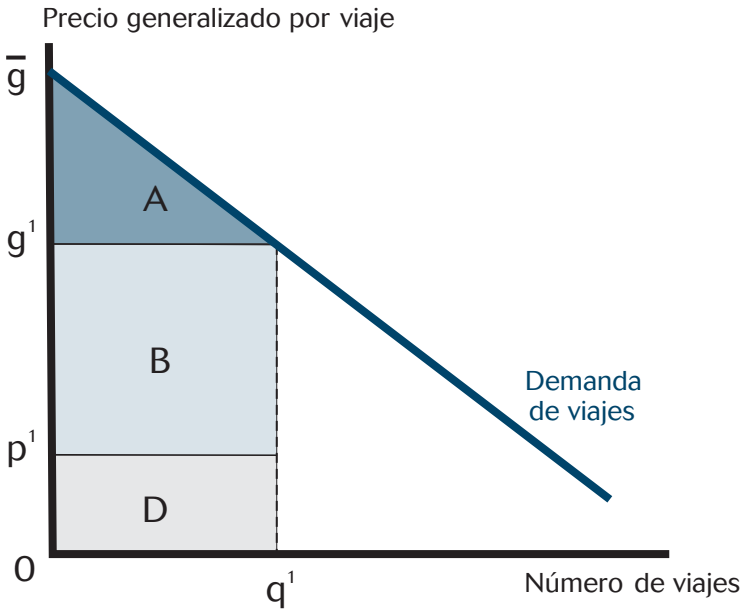
La **Figura 2.3** permite cuantificar los beneficios sociales *ex ante* de un proyecto de construcción de una nueva infraestructura de transporte o de introducción de un nuevo servicio. En ella se representa la **situación 1**, en la que ya se ha llevado a cabo el proyecto, con un coste inicial igual a C, y el precio generalizado asociado al mismo es igual a g^1, con una demanda de viajes igual a q^1. Obsérvese que, en ausencia de impuestos y subvenciones que distorsionen las tarifas (y suponiendo para simplificar que z=0), el importe monetario neto que el usuario paga por cada viaje es igual a p^1, siendo la distancia vertical entre g^1 y p^1, es decir, $g^1 - p^1 = v\tau^1$, el valor monetario del tiempo total de viaje, de acuerdo con (2.7).

Usando la aproximación de las disposiciones a pagar, el beneficio social asociado a esta nueva infraestructura o servicio sería igual a la disposición total a pagar por la misma por parte de todos sus usuarios (**área A+B+D**) menos el valor total del tiempo de viaje invertido por estos (**área B**), es decir, el **área A+D**. Alternativamente, como suma de excedentes, el beneficio social vendría dado por el excedente de los usuarios (**área A**) más el de los productores, que a su vez es igual a los ingresos (**área D**). En ambos casos habría que restar los costes de construcción C, no representados en la figura anterior, para simplificar.

Formalmente, el beneficio neto es igual al **área A+D**, menos los costes de construcción C, dando lugar a la siguiente expresión de los beneficios sociales (netos) del proyecto, cuyo cálculo requiere conocer el precio máximo de reserva ($\bar{g}$):[18]

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}\left(\bar{g} - g^1\right)q^1 + p^1 q^1 - C^1 \qquad (2.8)$$

Figura 2.3. Beneficios sociales de un proyecto de transporte (I)



[18] Obsérvese que la expresión (2.8) no tiene subíndices. Ello indica que no se refiere a un momento particular del tiempo, sino a los beneficios y costes sociales de *cualquier* período.

El beneficio social neto de un proyecto es igual a la suma de los excedentes de los usuarios y de los productores; o lo que es lo mismo, a la disposición total a pagar de la sociedad por el nuevo proyecto menos los recursos necesarios para su realización.

Beneficio social cuando varía el precio generalizado

En la **Figura 2.4** se representa el caso en el que el proyecto analizado conlleva una modificación del precio generalizado ya existente (por ejemplo, la mejora de una infraestructura o la introducción de servicios cuando ya existen otras alternativas).

En particular, consideraremos que el proyecto reduce el precio generalizado de g^0 a g^1 en relación a la situación sin proyecto (**situación 0**) debido a una disminución del tiempo de viaje de τ^0 a τ^1, sin que exista ningún cambio en los componentes monetarios del precio (p ó z). Esta reducción hace que la demanda de viajes aumente de q^0 a q^1.

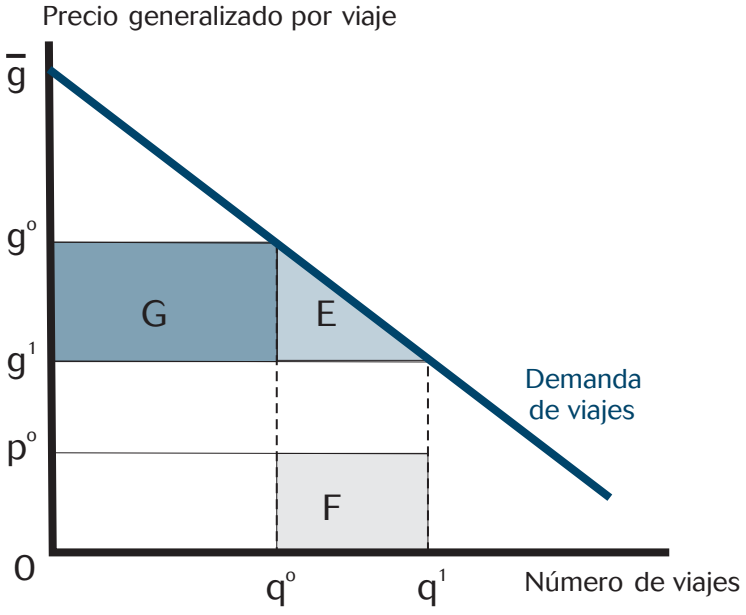
En estas circunstancias, los cálculos son más sencillos porque no necesitamos calcular excedentes totales sino **los cambios en los excedentes de los consumidores y las empresas**. Así, descartando las transferencias, el cómputo de los beneficios sociales en este caso requeriría únicamente sumar las **áreas G, E** y **F**, y restar la variación en los costes (de nuevo, no representados), obteniéndose:

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}\left(g^0 - g^1\right)\left(q^0 + q^1\right) + p^0\left(q^1 - q^0\right) - \left(C^1 - C^0\right) \tag{2.9}$$

o bien, usando (2.7),

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}v\left(\tau^0 - \tau^1\right)\left(q^0 + q^1\right) + p^0\left(q^1 - q^0\right) - \left(C^1 - C^0\right) \tag{2.10}$$

Figura 2.4. Beneficios sociales de un proyecto de transporte (II)



El primero de los sumandos de las dos expresiones anteriores corresponde a la **variación del excedente de los consumidores** (ΔEC),[19] mientras que el segundo refleja la **variación en el excedente de los productores** (ΔEP), por lo que ambas expresiones podrían resumirse en:

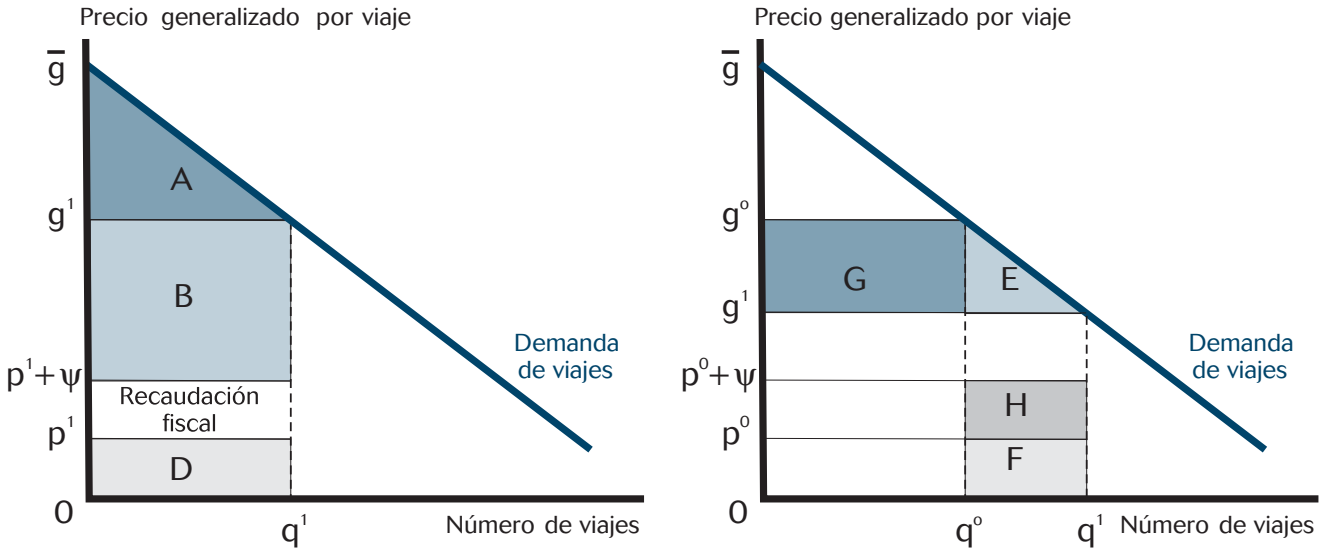
$$BS^1 - CS^1 = \Delta EC + \Delta EP \tag{2.11}$$

Cuando hay cambios en el precio generalizado, los cálculos que hay que realizar son más sencillos, ya que no se necesita conocer el valor total de los excedentes de consumidores y productores, sino los cambios en dichos excedentes como consecuencia de la ejecución del proyecto.

Tratamiento de los impuestos

Consideremos ahora que existen impuestos y subvenciones relacionados con el proyecto. En la **Figura 2.5** se representan los dos casos anteriores, suponiendo ahora que el precio de cada viaje se incrementa en un impuesto unitario ψ, determinado por el gobierno, de tal manera que el importe realmente pagado por cada viajero es ahora $P = p + \psi$, donde p es el precio sin impuestos.

Figura 2.5. Beneficios sociales cuando existe un impuesto unitario



Disposición total a pagar — Variación del precio generalizado

Obsérvese que en el panel izquierdo de la figura, al medir la disposición total a pagar por el nuevo proyecto, aparece un área nueva (ψq^1) a contabilizar en (2.8), que corresponde a la recaudación fiscal de los impuestos pagados por los usuarios por el uso de la nueva infraestructura o servicio de transporte.

En el panel derecho, cuando el proyecto genera un cambio en los precios generalizados de g^0 a g^1, para calcular los beneficios sociales cuando existen impuestos en el mercado analizado, hay que añadir a la expresión (2.11) el término correspondiente al **área H**, que refleja la variación de la recaudación fiscal antes y después del proyecto:

$$\psi\left(q^1 - q^0\right) \tag{2.12}$$

[19] Este sumando es conocido en la literatura como "regla de la mitad".

Esto último puede extenderse a los casos en los que el precio pagado por los usuarios incluya también subvenciones. Por ejemplo, si se trata de una subvención unitaria, tendríamos $P = p + \psi - s$ y deberíamos añadir a la expresión (2.11) el término:

$$-s\left(q^1 - q^0\right) \tag{2.13}$$

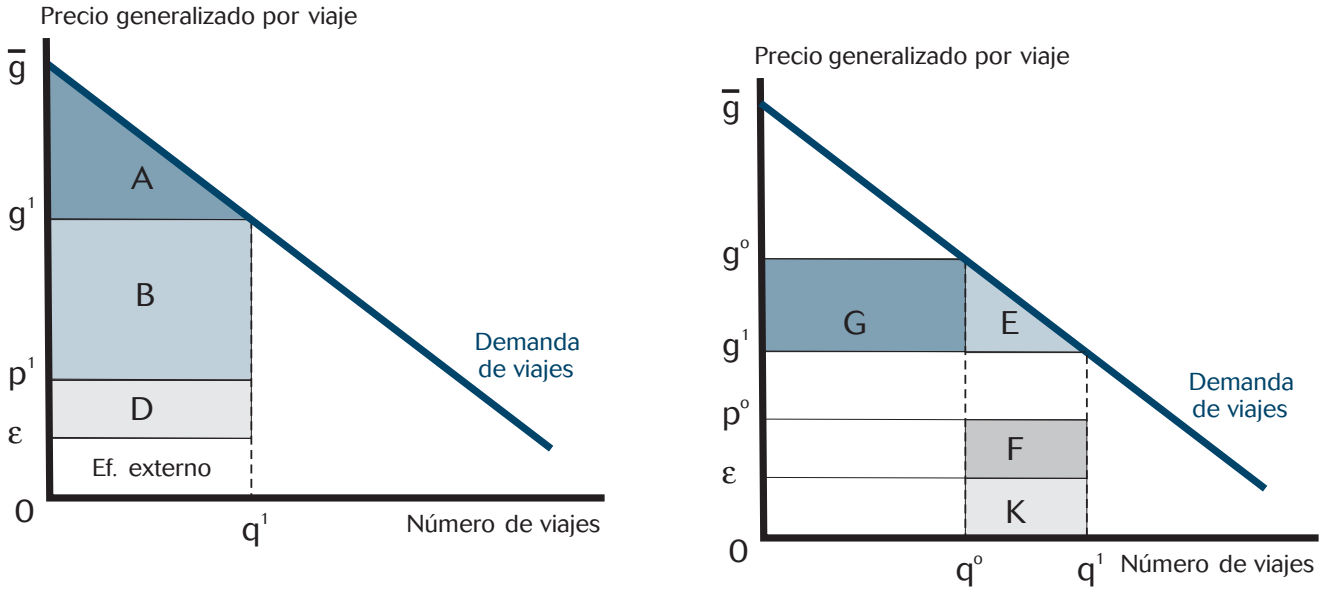
`

La implicación más importante de la inclusión de las expresiones (2.12) y (2.13) en la forma descrita es que supone **ignorar los impuestos y las subvenciones en el tráfico existente y desviado y contabilizarlos en el generado**. Esto es correcto siempre que el pago de los viajes generados proceda de otra actividad sin impuestos o que, simplemente, sea actividad nueva.

Tratamiento de las externalidades

La **Figura 2.6** permite considerar el papel de las externalidades en la medición de los beneficios sociales en su versión más simple. Se trata del caso en el que existe un efecto externo negativo cuyo coste unitario (por viaje) es constante.

Figura 2.6. Beneficios sociales cuando existe una externalidad negativa



Disposición total a pagar — Variación del precio generalizado

De manera similar a lo que ocurría en el caso de los impuestos, en el panel izquierdo medimos la disposición total a pagar por el nuevo proyecto. El coste total de la externalidad viene definido por la nueva área εq^1, que habría de restarse de la expresión (2.8) para computar los beneficios sociales de la nueva infraestructura o servicio de transporte.

En el panel derecho de la figura anterior consideramos el caso en el que el proyecto genera una reducción del precio generalizado. En este caso, la contabilización de la externalidad en los beneficios sociales teniendo en cuenta el cambio en los precios generalizados requiere simplemente añadir a la expresión (2.11) el **área K**, definida por:

$$-\varepsilon\left(q^1 - q^0\right) \tag{2.14}$$

y correspondiente al coste de externalidad soportado por el tráfico generado.[20]

Resumen: una primera medición de los beneficios sociales

Teniendo en cuenta todo lo anterior, **cuando existen impuestos, subvenciones y externalidades, el cómputo de los beneficios y costes sociales medido a través de las variaciones de los excedentes de los consumidores y productores** quedaría como sigue:

$$BS^1 - CS^1 = \Delta EC + \Delta EP + \psi(q^1 - q^0) - s(q^1 - q^0) - \varepsilon(q^1 - q^0) \tag{2.15}$$

O bien:

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) + (p^0 + \psi - s - \varepsilon)(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0) \tag{2.16}$$

O bien, usando (2.7):

$$BS^1 - CS^1 = \frac{1}{2}v(\tau^0 - \tau^1)(q^0 + q^1) + (p^0 + \psi - s - \varepsilon)(q^1 - q^0) - (C^1 - C^0) \tag{2.17}$$

2.2.3. Medición de beneficios sociales: el caso general

Hasta ahora hemos considerado que los componentes monetarios del precio generalizado no se veían afectados por el proyecto de transporte evaluado. Esta simplificación, aunque útil desde un punto de vista didáctico, no resulta realista.

Para completar el análisis anterior analizaremos ahora **el caso más general de un proyecto que reduce el tiempo total de viaje y que, simultáneamente, aumenta el precio monetario por utilizar la nueva infraestructura o servicio de transporte**. Para simplificar, supondremos inicialmente que no existen distorsiones en el mercado en forma de impuestos, subvenciones o externalidades.

Cambios en tiempos de viaje y precios

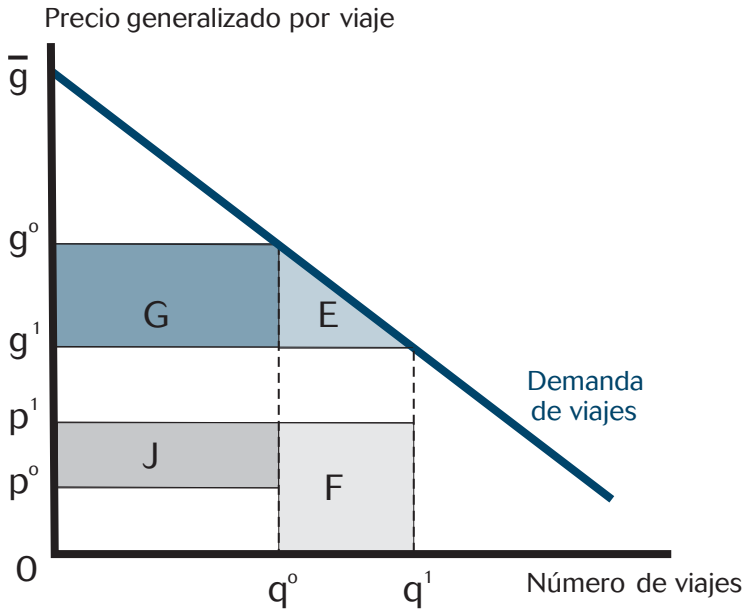
Consideremos como ejemplo un proyecto consistente en construir un nuevo puente en la carretera que une dos ciudades de manera que se reduzca significativamente la distancia y el tiempo de viaje entre ellas. Esto supone además para los usuarios una reducción de los costes operativos de sus vehículos (de z^0 a z^1). Sin embargo, si el proyecto es aprobado, los usuarios deberán pagar un peaje (p^1) superior al que se cobra en la actualidad (p^0).

Todos los viajeros que utilizarán el puente son, o bien desviados desde la antigua carretera ya existente (la cual se mantiene abierta para aquellos viajeros que no deseen o no puedan pagar el nuevo peaje), o bien de nueva generación. Ante la nueva alternativa disponible, **si un usuario elige utilizar el puente es porque su utilidad es mayor que si se mantiene utilizando la carretera antigua**, es decir, **porque su precio generalizado disminuye.**

Si definimos como $g = p + z + v\tau$, de acuerdo con la expresión (2.7), la condición para que un viajero se desvíe desde la carretera antigua es:

[20] Lógicamente, el tratamiento de las externalidades en el *ACB* es más complejo que el que refleja este análisis. Aunque en el caso de la pérdida de vidas humanas o del coste material de los accidentes, la expresión (2.14) es la que se utiliza en la práctica, en el caso del impacto medioambiental derivado de la construcción de grandes infraestructuras, el coste es una suma fija que se obtiene de acuerdo con los procedimientos más complejos, que serán discutidos más adelante, en la **Sección 2.4**. En el **Capítulo 4** se ofrecen algunos ejemplos de valores y estándares internacionales.

Figura 2.7. Medición de beneficios sociales: el caso general



$$v(\tau^0 - \tau^1) + (z^0 - z^1) > p^1 - p^0 \tag{2.18}$$

esto es, a pesar de que ahora tiene que pagar un peaje más elevado, el ahorro de tiempo y de coste operativo, le compensa el aumento del peaje.

Como ilustra la **Figura 2.7**, el precio generalizado de viajar *sin* el proyecto, es decir, utilizando la carretera ya existente, es g^0 y el número de viajes realizados es q^0. Con la construcción del puente el precio generalizado se reduce hasta g^1 y la variación experimentada en el excedente de los usuarios existentes y los generados gracias al puente puede expresarse como la suma de las **áreas G** y **E**:

$$\Delta EC = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) \tag{2.19}$$

Al excedente de los usuarios hay que añadir ahora el de los productores, que incluyen tanto a la empresa explotadora de la infraestructura como a todos los usuarios que conducen sus propios vehículos o los de las empresas para las que trabajan. Teniendo en cuenta que los costes no se han representado gráficamente, la variación del excedente de los productores sería la suma de las **áreas J** y **F**. Restando la variación de los costes a dichas áreas, tenemos:

$$\Delta EP = p^1 q^1 - p^0 q^0 + C^0 - C^1 \tag{2.20}$$

Este es el excedente resultante de la diferencia de ingresos *con* y *sin* el proyecto, más los costes evitables tras desviación de tráfico desde la carretera antigua hacia el puente, menos el coste anual de operar los vehículos y la infraestructura.[21]

Del beneficio social al *VAN* social

El beneficio social neto anual del proyecto de construcción del puente (sin restar aún los costes de inversión) es igual a la suma de (2.19) y (2.20):

[21] El coste de operar los vehículos no aparece en la expresión (2.20) ya que al tratarse de usuarios que "producen" sus propios servicios, zq es al mismo tiempo ingreso y coste, siendo el excedente del productor resultante igual a cero. El cambio en los costes operativos de los vehículos aparecerá contabilizado en el excedente del consumidor.

$$\Delta EC + \Delta EP = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) + p^1q^1 - p^0q^0 - (C^1 - C^0) \tag{2.21}$$

Obsérvese que en la práctica esta expresión habrá que recalcularla cada año durante la vida del proyecto, ya que el equilibrio entre demanda y oferta, que determina los diferentes valores de las variables utilizadas en (2.21) puede cambiar con el paso del tiempo.[22]

Además, una vez que se descuenten y sumen los beneficios anuales netos durante la vida del puente, habrá que restar los costes iniciales de inversión para obtener el valor actual neto del proyecto. Así, sustituyendo (2.21) en (2.1) y añadiendo el subíndice *t* para reflejar el valor que (2.21) toma cada año, la expresión del *VAN* social vendría dada por:

$$VAN_s = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{\Delta EC_t + \Delta EP_t}{(1+i)^t} \tag{2.22}$$

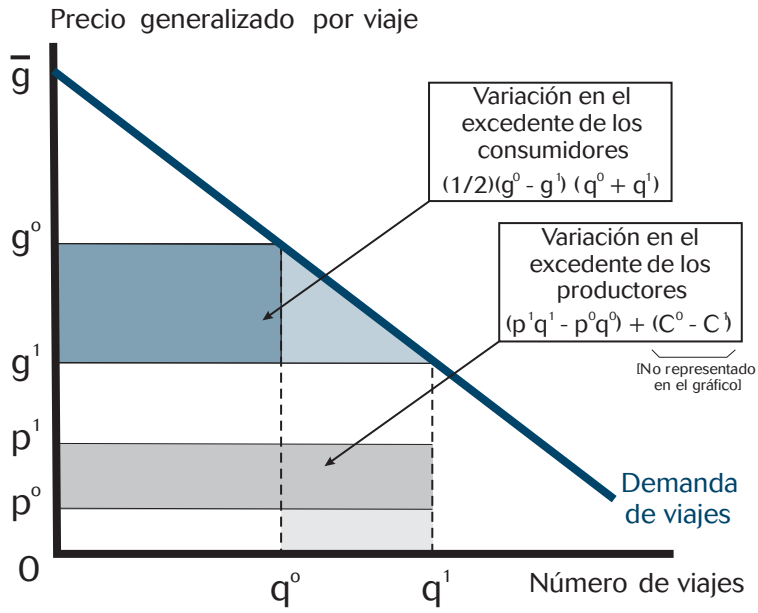
donde:

$$\Delta EC_t = \tfrac{1}{2}(g_t^0 - g_t^1)(q_t^0 + q_t^1) \qquad \Delta EP_t = p_t^1q_t^1 - p_t^0q_t^0 - C_t^1 + C_t^0$$

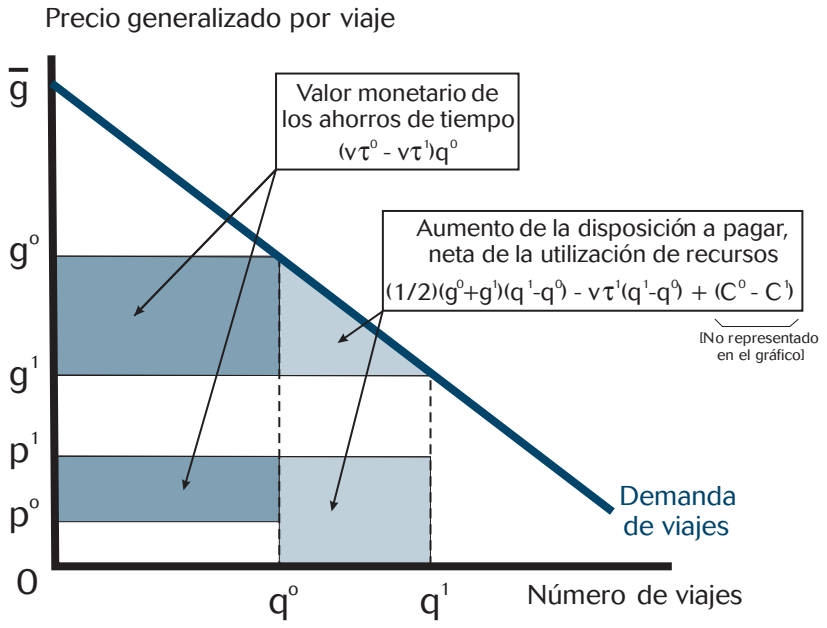
Las dos aproximaciones son equivalentes

Es importante resaltar que la expresión (2.21), y por tanto también la (2.22), se obtienen de igual forma usando cualquiera de las dos aproximaciones metodológicas propuestas en la subsección anterior: tanto el método de la variación de excedentes como el de cálculo de las disposiciones a pagar y variación de recursos conducen al mismo resultado, como muestra gráficamente la **Figura 2.8**.

Figura 2.8. Beneficios sociales: equivalencia de las dos aproximaciones



[22] Por ejemplo, debido al crecimiento de la demanda a lo largo del tiempo, a modificaciones en los costes como consecuencia de cambios tecnológicos, a la aparición de congestión a medida que aumenta el tráfico, etc. Todo esto modifica la magnitud de los beneficios sociales, como se discute más adelante, en la **Subsección 2.2.4**.



En el panel superior de la **Figura 2.8** se representan los beneficios sociales del proyecto calculados mediante suma de excedentes (a los que habría que añadir C^0 y restar C^1, costes *sin* y *con* el proyecto no representados en el gráfico).

Alternativamente, el panel inferior representa los ahorros de recursos (ahorros de tiempo) y el cambio en la disposición a pagar por la generación de tráfico, descontando el valor total del tiempo empleado en los desplazamientos. De nuevo no hay que olvidar que en el cambio en los recursos hay que sumar como beneficios el ahorro de costes (C^0) y restar los nuevos costes (C^1). Como puede comprobarse comparando las áreas resaltadas de ambos gráficos los beneficios sociales obtenidos utilizando ambos procedimientos son idénticos.

El modelo final de evaluación

Finalmente, si incorporamos a la expresión general (2.22) la posible existencia de impuestos y externalidades, **la expresión final del *VAN* social a considerar en la evaluación de proyectos de transporte debería ser la siguiente:**

$$VAN_s = -I_0 + \sum_{t=1}^{T} \frac{\Delta EC_t + \Delta EP_t + \psi_t^1 q_t^1 - \psi_t^0 q_t^0 - \varepsilon_t^1 q_t^1 + \varepsilon_t^0 q_t^0}{(1+i)^t} \qquad (2.23)$$

Este modelo de evaluación permite **reflejar los efectos de la inversión en proyectos de transporte sobre la asignación de recursos** cuando se dan los supuestos siguientes:

1. Los únicos beneficios son los derivados de ahorros de tiempo por trasvase de tráfico desde la carretera convencional al puente, más el valor del nuevo tráfico generado y los cambios en costes variables de vehículos e infraestructura.

2. Existen fondos públicos disponibles y por tanto no hay que corregir la inversión inicial con el precio-sombra de los fondos públicos que se destinan a la construcción del puente. En el caso de que una unidad monetaria destinada a esta infraestructura tuviese un coste adicional para la economía (por la distorsión causada) superior a una unidad monetaria (factor de conversión), habría que multiplicar la inversión por dicho precio-sombra.

3. Se trata de aceptar o rechazar el proyecto, siendo por tanto el $VAN_s>0$ condición suficiente para invertir en el proyecto, lo que no ocurriría si hubiese varios proyectos compitiendo por fondos públicos escasos, en cuyo caso un *VAN* social positivo sería condición necesaria pero no suficiente.

4. Los resultados que se derivan de aplicar (2.23) tienen la eficiencia como el único criterio relevante. Los objetivos de equidad o de aceptabilidad política, que pueda tener el gobierno, no están recogidos en esta formulación.

2.2.4. Aspectos dinámicos: demanda y costes *con* y *sin* proyecto

Como hemos visto, la mayor parte de los proyectos de transporte conllevan para la sociedad dos tipos de beneficios principales: una reducción del tiempo total de viaje (de personas o mercancías) para los viajes ya existentes en el corredor analizado (o desviados hacia éste desde otro modo de transporte o desde otro corredor), y un aumento de la disposición a pagar correspondiente a los nuevos viajes que se realizan en el corredor tras el proyecto (tráfico generado).

A lo largo del tiempo estos beneficios dependen de los efectos que genere el proyecto, pero en su evaluación debe considerarse como marco de comparación lo que habría sucedido si el proyecto no se hubiese realizado.[23]

El mercado de transporte con y sin proyecto

La medición de los beneficios sociales *con el proyecto* (**situación 1**) frente al caso-base *sin el proyecto* (**situación 0**) presenta algunas particularidades en función del tipo de proyecto y del modo de transporte. Sin embargo, podemos partir de un planteamiento común en la evaluación preguntando **qué ganamos** y **qué perdemos** con cada proyecto.

Un ejemplo: beneficios con y sin proyecto

Para ilustrar esta idea consideremos un proyecto consistente en la construcción de una nueva infraestructura que reduce el tiempo de transporte en un determinado corredor. Inicialmente, esto es, *sin el proyecto*, la demanda anual de viajes es q^0, con un precio generalizado g^0, el cual se reduciría hasta g^1 tras la realización del proyecto.

Si la demanda fuese perfectamente inelástica (es decir, no variase al modificarse el precio) y los costes unitarios no cambiasen al hacerlo la demanda, el importe de los beneficios iniciales del proyecto se obtendría simplemente multiplicando la reducción del tiempo de viaje por su valor y por el número de viajes realizados.[24]

En los años siguientes podría pensarse que este beneficio sería esencialmente el mismo, incrementándose únicamente en la cuantía en que lo hiciera la demanda (como consecuencia de aumentos de la población y/o de la actividad económica). Sin embargo, la realidad es diferente: **la demanda responde a los cambios en los precios generalizados y los costes no suelen ser constantes**, ya que crecen cuando aumenta la demanda, y especialmente cuando ésta se aproxima a la capacidad máxima de la infraestructura.

La respuesta de la demanda a cambios en los precios

Para centrarnos en el primero de estos dos aspectos en la **Figura 2.9** representamos los beneficios iniciales del proyecto (en el año t) suponiendo que los costes medios de transporte *sin* y *con* proyecto (c^0 y c^1) son constantes e iguales al precio generalizado, g.

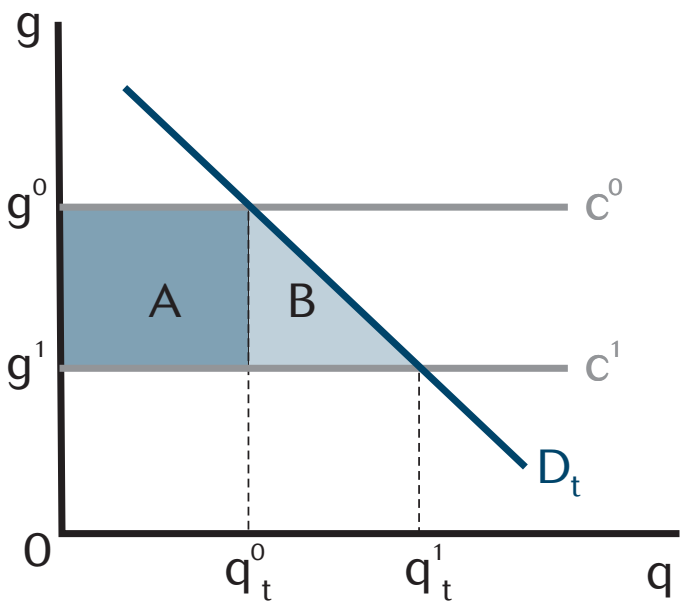
En este caso, el cómputo de los beneficios sociales requiere únicamente conocer, a partir de la función de demanda D_t, la reducción del precio generalizado y el incremento de tráfico que se genera como consecuencia de dicha reducción.

---

[23] Dependiendo del tipo de proyecto, otros beneficios se sumarán a los anteriores, como son las mejoras en la fiabilidad y seguridad, etc. En la argumentación utilizada en esta subsección nos ceñimos a los beneficios de ahorros de tiempo y aumentos en la disposición a pagar de los viajes generados, aunque el razonamiento es aplicable a los demás beneficios mencionados.

[24] Para simplificar el análisis formal, supondremos que no hay precio monetario, ni costes operativos del equipo móvil, ni impuestos, ni externalidades, ni efectos indirectos, por lo que el precio generalizado incluye únicamente el valor del tiempo de viaje ($g = v\tau$). Otra simplificación adicional consiste en asumir que el tráfico es homogéneo. Si existieran distintos tipos de tráfico (vehículos ligeros y pesados, viajes por motivo de trabajo y ocio, buques de distinto tonelaje y especialización, aeronaves de distinto tamaño, etc.) podríamos denotarlos por q_t, donde el subíndice haría referencia a cada posible tipo de tráfico.

Figura 2.9. Beneficios iniciales del proyecto (año t)



De acuerdo con las expresiones desarrolladas en las secciones anteriores, los beneficios sociales del proyecto asociados al **tráfico ya existente** serían los correspondientes al **área A:**

$$v(\tau^0 - \tau^1)q_t^0 \tag{2.24}$$

los cuales son también los beneficios del tráfico desviado, si se considera la reducción del precio generalizado como la media de todos los viajes desviados.

En el caso del **tráfico generado**, $\Delta q = q^1 - q^0$, los beneficios sociales vendrían dados por el **área B:**

$$\tfrac{1}{2}v(\tau^0 - \tau^1)(q_t^1 - q_t^0) \tag{2.25}$$

Por tanto, los beneficios iniciales del proyecto asociados al tráfico existente, desviado y generado (**áreas A + B**) dan lugar a la ya conocida "regla de la mitad":

$$\tfrac{1}{2}v(\tau^0 - \tau^1)(q_t^0 + q_t^1) \tag{2.26}$$

donde el tráfico generado puede estimarse a partir de la elasticidad de la demanda con respecto al precio generalizado, $\eta = (\Delta q/\Delta g)(g/q)$, en el punto de equilibrio inicial:[25]

$$q_t^1 = q_t^0\left(1 + \eta\frac{\Delta g}{g}\right) \tag{2.27}$$

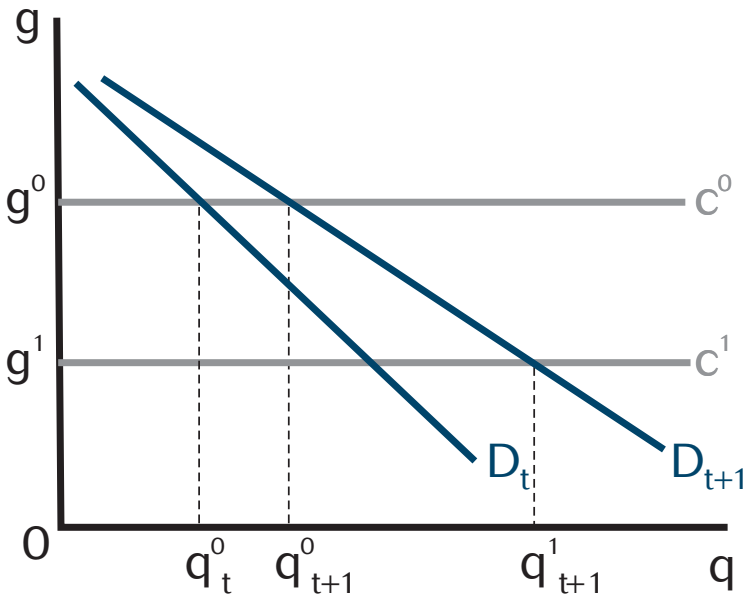
Una vez obtenidos los beneficios iniciales del proyecto el siguiente paso es calcular los beneficios para los restantes años de vida útil del mismo. Para ello hay que comparar los equilibrios *con* y *sin* proyecto en cada año.

En la **Figura 2.10** se representa el mismo corredor un año más tarde, donde D_{t+1} es la nueva función de demanda, la cual ha aumentado como consecuencia del crecimiento de la población y/o de la actividad económica. Como

[25] Reemplazando (2.27) en (2.26), la "regla de la mitad" podría expresarse también como: $(1/2)v(\tau^0 - \tau^1)\, q^0_t\, (2 + \eta\ (\Delta g/g))$

puede observarse, la nueva función de demanda afecta tanto al tráfico *con* proyecto como al que habría habido en el corredor si el proyecto no se hubiese realizado. Estos dos valores, q^0_{t+1} y q^1_{t+1}, son los relevantes (y no el q^0_t) a efectos del cómputo de la "regla de la mitad" correspondiente al año t+1 (de igual manera para años sucesivos), **ya que debemos comparar lo que sucederá si el proyecto se realiza con lo que sucedería si éste no se llevase a cabo.**

Figura 2.10. Beneficios del proyecto y cambios en la demanda (año t +1)



Los beneficios del proyecto en cada año deben siempre calcularse con los precios generalizados que corresponderían a dicho año en las situaciones con y sin proyecto.

Cambios en la demanda y en los costes de los viajeros

En la **Figura 2.11** se representa ahora el caso más general en el que el coste medio de los viajeros aumenta a medida que lo hace la demanda debido, por ejemplo, a la aparición de congestión en el corredor analizado. En este caso, los beneficios sociales del proyecto también se ven afectados por los cambios en los costes de los usuarios.

Aunque el proyecto genera inicialmente una mayor reducción en el precio generalizado de los viajes (la distancia vertical entre c^0 y c^1), el consiguiente aumento de la demanda (de q^0_t a q^1_t) produce (más) congestión, haciendo que el precio final (g^1_t) sea superior al que cabría esperar inicialmente.[26]

Para calcular los beneficios en años sucesivos sería necesario determinar los equilibrios *con* y *sin* el proyecto en los períodos siguientes. La **Figura 2.12** refleja el crecimiento de la demanda en t+1, mostrando de nuevo que la variación en los costes afecta de manera determinante al cómputo de los beneficios sociales. Como puede observarse, los valores a comparar son ahora g^0_{t+1} y g^1_{t+1}, y lo mismo sucedería en cada uno de los períodos siguientes.

[26] Sólo si la demanda fuese perfectamente inelástica la reducción de costes sería igual a la máxima posible. De hecho, puede observarse que la reducción efectiva en el precio generalizado es menor cuanto más elástica es la demanda con respecto al precio y más sensibles son los costes con respecto al aumento que se produce en la demanda.

Figura 2.11. Beneficios del proyecto y cambios en los costes (año *t*)

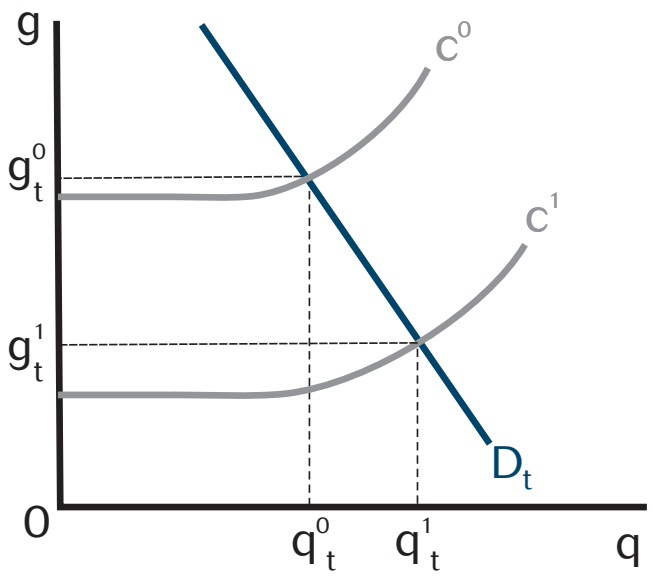
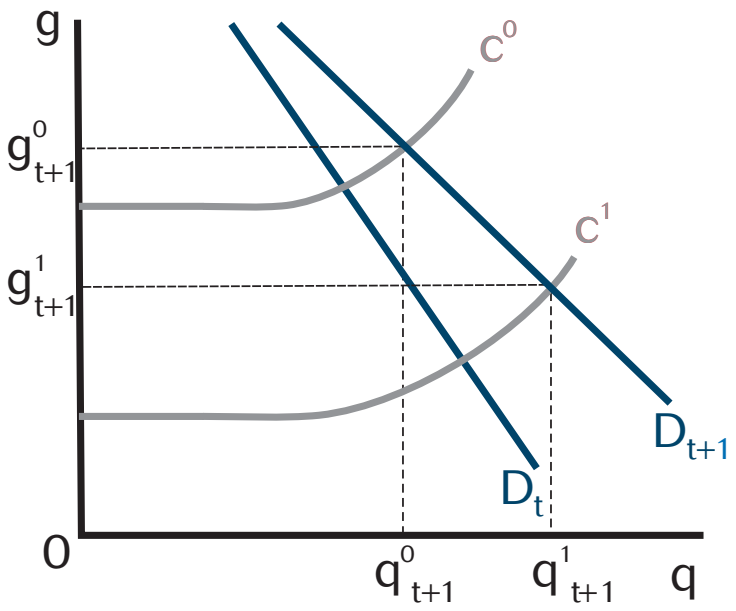


Figura 2.12. Beneficios del proyecto y cambios en los costes (año *t* +1)



Aunque las dificultades de cálculo de los diferentes equilibrios a lo largo del tiempo son obvias, ignorarlas puede producir sesgos muy importantes en la estimación de los beneficios sociales.

Finalmente, cuando el precio generalizado incluye un precio monetario (peaje, tarifa portuaria, etc.) los equilibrios cambian, pero no la forma de calcularlo: seguiremos aplicando la "regla de la mitad" para estimar el cambio en el excedente de los usuarios y sumaremos a este beneficio el cambio en el excedente de los productores. Tanto si el precio monetario está calculado con el fin de igualar el precio generalizado al coste marginal como si se trata de una tasa por utilización de la infraestructura con la finalidad de recuperar los costes fijos, el procedimiento de estimación de los beneficios no cambia.

2.3. Incertidumbre y criterios de decisión

2.3.1. La incertidumbre en los proyectos de transporte

El modelo de evaluación presentado hasta ahora en este capítulo tiene carácter determinista. Las variables toman valores únicos que se conocen con certeza una vez fijadas las condiciones y los parámetros de la obra y el volumen de demanda que se va a atender.

Sin embargo, y con carácter general, existe un conjunto de factores que hacen que el *VAN ex ante* y *ex post* de un proyecto puedan diferir. En el caso de la construcción de infraestructuras de transporte, algunos de estos factores son especialmente relevantes para explicar la discrepancia entre la predicción y la realidad.

El modelo básico de este *Manual* se construye a partir del reconocimiento de la influencia de estos factores; las variables relevantes tomarán valores diferentes dependiendo de la influencia de factores de carácter exógeno (por ejemplo, el precio internacional del crudo), incontrolables por parte del constructor, del operador o incluso del gobierno; y de otros factores (por ejemplo, el coste medio de mantenimiento) que dependen parcialmente del esfuerzo de los responsables de la infraestructura y servicios de transporte.

Incertidumbre sobre los resultados del proyecto

A efectos de este *Manual* definiremos la incertidumbre como la existencia de varios resultados posibles asociados a un mismo proyecto y cuya ocurrencia depende de diferentes contingencias que pueden darse durante la vida del mismo. La falta de certeza sobre el resultado de un proyecto depende de dos tipos de incertidumbre cuya presencia amplía el rango de valores posibles del *VAN*:

1. **Incertidumbre en un sentido estricto**, es decir el hecho de que existan contingencias diferentes cuya ocurrencia afecta al flujo de beneficios y costes, como por ejemplo que la demanda sea alta o baja, o que los precios de los *inputs* crezcan a una tasa menor o mayor. Obsérvese que esta incertidumbre puede ser específica del proyecto (al construir la infraestructura se presentan dificultades inesperadas que encarecen la obra) o externas al mismo (una huelga general o una elevación de los precios del petróleo).

2. Junto a esta incertidumbre, existe otra que está **asociada al proceso de evaluación** y que puede darse incluso si no existe incertidumbre en un sentido estricto. Se trata de la información disponible sobre el valor del tiempo o las elasticidades de la demanda con respecto al precio y a la renta. Podemos tener información sobre el rango que pueden tomar los valores de algunos parámetros fundamentales mediante la transferencia de valores de otros estudios, ajustándolos a las condiciones del país en el que se realiza la evaluación. Desde el momento en que utilicemos varios valores para el precio de los *inputs* o el valor del tiempo, el efecto sobre el *VAN* es idéntico al de la incertidumbre de demanda.

Los factores humanos

Junto a los factores exógenos, los factores humanos pueden hacer que un proyecto no se ajuste a lo esperado: a veces se cometen errores en la predicción de la demanda, en el diseño de la obra o en la confección del presupuesto del proyecto.[27] El sesgo que estos errores introduce en el proyecto no debería tener una dirección determinada si estos tuviesen naturaleza aleatoria.

Sin embargo es muy frecuente que la demanda se sobreestime y los costes se subestimen; en otras palabras, **el sesgo suele ser sistemático a favor del proyecto**. Existe evidencia que respalda la hipótesis de comportamiento estratégico de los promotores con el fin de obtener la aprobación de un proyecto por parte del gobierno (este problema se explica a veces por la separación existente entre el que presenta el proyecto y el que lo financia).[28]

[27] Por ejemplo, construir la *Sydney Opera House* costó 105 millones de dólares, frente a un presupuesto inicial de 7 millones. Una parte de esta desviación fue debida a que en el diseño original no se incluyó la instalación de aire acondicionado. Cuando se descubrió el descuido era tarde para una instalación convencional por su interferencia con la acústica del auditorio. Como solución hubo que instalar un suelo para hockey sobre hielo (citado por P. McAfee en www.introecon.com).

[28] Véanse las referencias de Flyvbjerg *et al.* (2003) y Skamris y Flyvbjerg (1997) citadas en el **Capítulo 1.**

Variables sujetas a incertidumbre

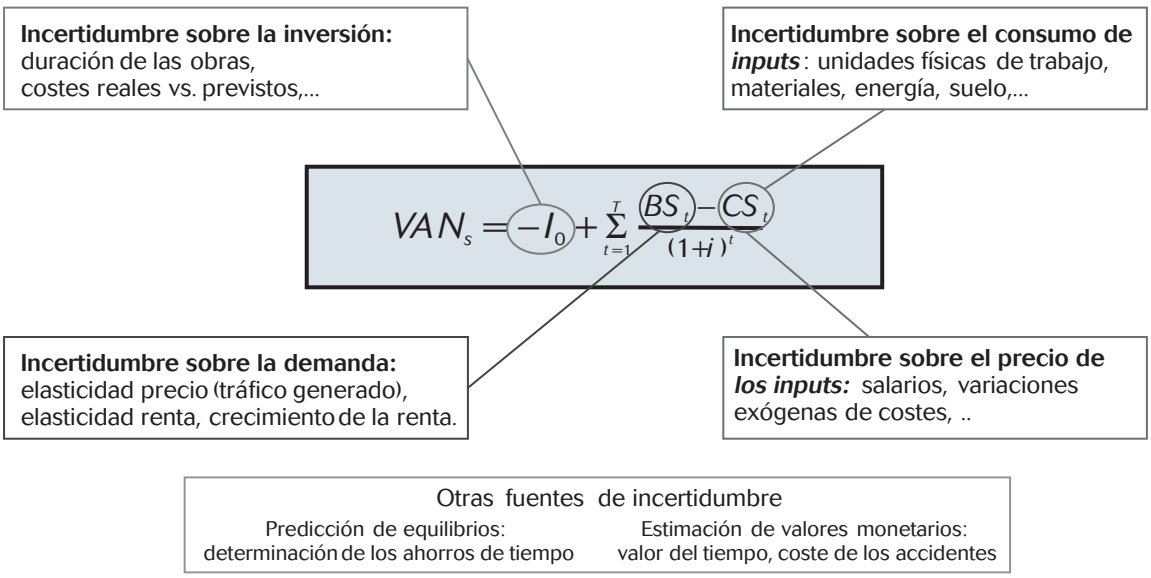
Como muestra la **Figura 2.13**, los factores que introducen incertidumbre en la evaluación económica de un proyecto de inversión afectan al cálculo del *VAN* al menos de **tres formas distintas**, las cuales no son excluyentes entre sí:

1. En primer lugar, puede existir **incertidumbre sobre los costes de inversión o explotación.** En el primer caso, puede deberse a la aparición de retrasos que afecten a la duración de las obras y/o a desviaciones no previstas de los costes reales con respecto a los costes presupuestados. La incertidumbre con respecto a los costes de explotación suele provenir de la dificultad para conocer con exactitud el consumo de determinados *inputs* (mano de obra, materiales, energía) o a la aparición de desviaciones en el precio de dichos factores (salarios, precio del combustible, etc.).

2. Un segundo efecto de la incertidumbre sobre el cálculo del *VAN* procede del **cómputo de los beneficios**. En este caso, suele tratarse de una incertidumbre de demanda, pues junto a la dificultad de predecir el comportamiento futuro de los tráficos, existen otras variables, como la elasticidad renta o la elasticidad precio (para predecir el comportamiento del tráfico generado), cuyo conocimiento preciso resulta difícil.

3. Finalmente, existe una tercera fuente de incertidumbre, **de tipo metodológico**, referida a la dificultad de predecir con certeza los equilibrios *con* y *sin* proyecto y al propio cómputo de determinados factores, tales como el valor del tiempo o el coste de los accidentes que, por su naturaleza basada en preferencias de los individuos, presenta amplia variabilidad dependiendo de las circunstancias concretas de cada proyecto.

Figura 2.13. Fuentes de incertidumbre en el cálculo del VAN



Cada una de estas fuentes de incertidumbre tiene un impacto diferente sobre los posibles valores finales del *VAN* de un proyecto. Por ello, y ante la imposibilidad de conocer con certeza todas y cada una de las variables aleatorias implicadas en un proyecto, resulta necesario seguir un proceso riguroso de modelización de la incertidumbre y análisis del riesgo que permita centrar los esfuerzos de análisis en aquellos elementos cuyo efecto relativo es mayor.

2.3.2. Modelización de la incertidumbre

Las principales etapas en un proceso formal de modelización de la incertidumbre y análisis del riesgo de un proyecto de inversión son las siguientes: [29]

1. Planteamiento formal del proyecto.

2. Selección de las variables de riesgo.

3. Modelización de las distribuciones de probabilidad.

4. Simulación de posibles resultados del proyecto.

1. Modelización formal del proyecto

Con independencia de si se va a realizar un análisis financiero o coste-beneficio, la evaluación económica de cualquier proyecto requiere hacer manejable el problema que vamos a analizar. Se trata de plantear un modelo simplificando la realidad que haga manejable el problema recogiendo las relaciones fundamentales existentes entre las variables, con el fin de predecir los flujos de costes y beneficios a lo largo del tiempo para, una vez actualizados, poder predecir cuál será el *VAN* del proyecto según los distintos valores que tomen las variables del mismo.

El modelo básico de este *Manual* trata, por un lado, de concentrarse en las variables fundamentales y en la modelización de su comportamiento; y por otro lado, de sacar el máximo partido a la información disponible, mediante la utilización de todos los valores que razonablemente se espera que tomen las variables relevantes así como sus respectivas probabilidades de ocurrencia.

Esta modelización es similar en cualquier proyecto de infraestructuras, ya sea la construcción de un puerto, de una línea ferroviaria o de una carretera. **Las principales variables y parámetros a incluir suelen ser la inversión inicial, los costes operativos anuales fijos y variables de infraestructura y equipo móvil, la demanda desviada y generada y el valor del tiempo**, aunque las especificidades del proyecto también suelen afectar a la elección de las variables relevantes.

Así por ejemplo, supongamos que el contrato con una empresa especializada extranjera estableciese la construcción de un aeropuerto en un plazo y a un precio prefijado, pero que dicho precio variaría de acuerdo con los costes laborales del país, de manera que se produce revisión automática del precio si durante los años de construcción cambiasen los costes laborales. Si dicha variación en los costes laborales fuese probable y éstos fuesen una parte significativa de los costes totales, una variable del modelo debería ser el salario de los trabajadores.

Finalmente, el grado de desagregación de los costes (distinguiendo los costes laborales, materiales y repuestos, energía, etc.) o de la demanda (por tramos, por tipos de viajeros, etc.) dependerá siempre de la calidad de la información y de la importancia relativa de estos componentes en la evaluación.

2. Selección de las variables de riesgo a modelizar

Dentro del conjunto de variables que determinan la rentabilidad del proyecto, deben elegirse sólo aquellas que, además de ser probable que cambien, si lo hiciesen modificarían significativamente los resultados del proyecto. Podrían excluirse, por tanto, las variables que cumplieran una de las dos condiciones siguientes:

a. tienen alto impacto si cambian, pero es improbable que cambien, y

b. es muy probable que cambien, pero si lo hacen su impacto no es significativo.

[29] Savvides, S. (1994): "Risk Analysis in Investment Appraisal", *Project Appraisal* 9(1), 3-18.

La rentabilidad social de un proyecto estándar está determinada por: la variabilidad asociada a los costes de inversión, dada su magnitud y su materialización en los primeros años de vida del proyecto; por el rango en el que se sitúa el valor del tiempo, y por el valor inicial de la demanda y la tasa esperada de crecimiento durante la vida del proyecto.

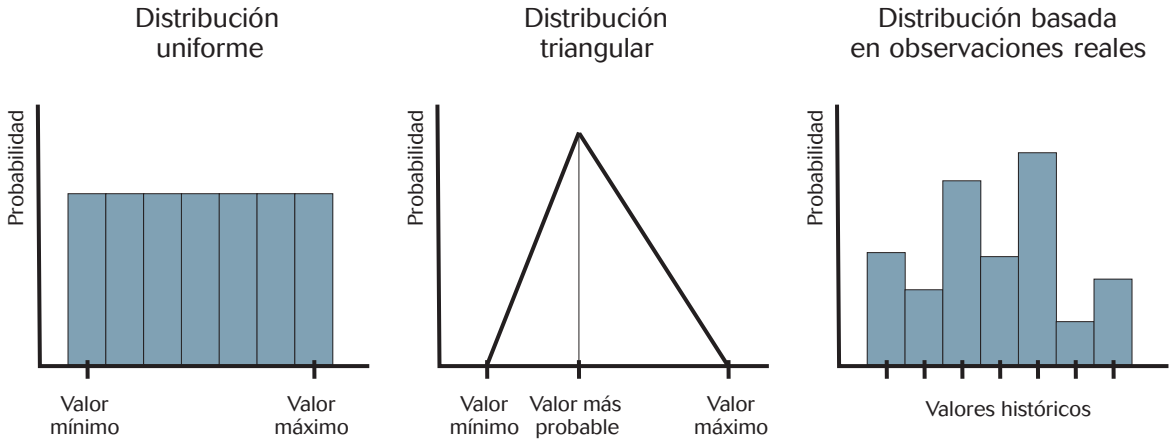
La razón para preocuparse de reducir tanto como se pueda el número de variables que se incluirán en el análisis de riesgo estriba en que, **cuantas más variables se incluyan, es más difícil que se puedan establecer las correlaciones existentes entre las distintas variables y por tanto, es más probable que se generen resultados inconsistentes** una vez que se hagan las simulaciones aleatorias. Además, **reducir el número de variables permite concentrar el esfuerzo de la evaluación en los supuestos que se van a emplear y en la modelización que se realice sobre el comportamiento de las variables elegidas.**

3. Distribuciones de probabilidad para las variables de riesgo

Muchos proyectos de inversión en transporte presentan incertidumbre en la demanda y en los costes debido a la dificultad de predecir el número de usuarios futuros y la evolución de los costes. Determinar el valor exacto de estas variables es prácticamente imposible; sin embargo, suele ser factible aventurar un valor mínimo y máximo para cada variable, así como el valor más probable entre los dos extremos. Esto permite asignar subjetivamente distribuciones de probabilidad, como muestra la **Figura 2.14.**

La elección del rango y del tipo de función de probabilidad es un ejercicio de predicción del futuro que se basa tanto en los datos del pasado como en nuestra visión de cómo creemos que será el futuro.

Figura 2.14. Distribuciones de probabilidad más habituales



- Cuando la información disponible se limita los valores mínimos y máximos de la variable en cuestión, la distribución elegida puede ser una **uniforme**, que asigna igual probabilidad de ocurrencia a los valores comprendidos entre dichos extremos.

- Si además se dispone de información sobre el valor más probable de la variable, puede utilizarse una distribución **triangular** (aunque no necesariamente simétrica, pues el valor más probable puede estar más cerca de uno de los dos extremos).

- Finalmente, si contamos con información histórica sobre los valores que ha tomado una determinada variable en el pasado puede construirse un **histograma de frecuencias** y deducir a partir de éstas las probabilidades correspondientes.

4. Simulación de los resultados del proyecto

Una vez definidas las distribuciones de probabilidad de las variables de riesgo que afectan al proyecto, la manera más habitual de tratar la incertidumbre en la evaluación económica del mismo consiste en utilizar programas de simulación en los que los cálculos del modelo especificado para hallar el *VAN* se ejecutan un número muy elevado de veces, tomando en cada una de las iteraciones el valor fijo de las variables deterministas y eligiendo para las variables de riesgo, de manera aleatoria, un valor de acuerdo con su distribución de probabilidad. **Al final del proceso se obtienen diferentes distribuciones de probabilidad para el *VAN* de cuyo análisis dependerá la decisión que se tome sobre el proyecto.**

El VAN como variable aleatoria

Para ilustrar estas ideas con un ejemplo, supongamos que el resultado de un proyecto depende de si la demanda es alta o baja. La información disponible en el presente (que es cuando hay que decidir si invertir o no) sólo permite saber que ambas contingencias son igual de probables. Si la demanda es alta, el beneficio bruto es igual a 120 y si la demanda es baja, 80. En este caso, el beneficio bruto esperado es:

$$½120 + ½80 = 100.$$

Si para obtener estos beneficios esperados hay que invertir 90, y el que toma la decisión es neutral al riesgo, el valor actual neto esperado del proyecto es igual a:

$$E(VAN) = -90 + ½120 + ½80 = 10 > 0.$$

De acuerdo con este resultado, el proyecto debería realizarse. Sin embargo, la mayoría de los individuos consideraría este proyecto arriesgado, ya que una vez invertido el dinero, la demanda sería alta o baja con igual probabilidad y por tanto que el beneficio fuese positivo (beneficios de 30) o negativo (pérdidas de 10) sería idéntico a obtener cara o cruz tras lanzar una moneda al aire.

Muchos inversores no arriesgarían su dinero en un proyecto como éste, y al rechazarlo estarían revelando que la equivalencia en términos ciertos de los beneficios brutos probables no es el valor esperado sino una cifra inferior (inferior a 90 en este ejemplo). **Reducir el valor de los beneficios esperados hasta que equivalgan a una cifra de beneficios ciertos es similar a añadir una prima de riesgo a la tasa de descuento.**

En la práctica, los resultados probables no suelen ser los extremos del ejemplo, sino todos los valores posibles entre 80 y 120, con lo que aunque el valor esperado sigue siendo 10, tenemos un **conjunto de valores con sus respectivas probabilidades que son de utilidad para la toma de decisiones. Ignorarlos sería perder información valiosa, innecesariamente.**[30]

Así por ejemplo, si nuestra creencia sobre los valores de la demanda supone que ésta oscilará entre 80 y 120, pero no sabemos si alguno de los 41 valores que puede tomar esta variable entre ellos es más probable que los demás, utilizaremos una distribución uniforme, que es la que asigna la misma probabilidad (1/41) a cada uno de ellos.

Cualquier programa informático de análisis de riesgo permite realizar en poco tiempo un número alto de extracciones, eligiendo en cada un valor aleatorio de la demanda entre 80 y 120 de acuerdo con la distribución uniforme especificada. Esto hace que la demanda en nuestro modelo de evaluación sea una variable aleatoria en lugar de una determinista y, consiguientemente, **nuestro *VAN* ya no será tampoco determinista, sino aleatorio, con su propia distribución de probabilidad.**

[30] Otra cuestión es si el sector público, igual que los inversores privados, debería trabajar con valores esperados o reducir dichos valores (elevando la tasa de descuento) para introducir el coste del riesgo.

La consistencia de las simulaciones

Es importante señalar que en la modelización deben tenerse en cuenta las relaciones económicas y técnicas existentes entre las variables utilizadas. Si el programa elige un valor para cada variable de riesgo independientemente del valor que haya elegido para las otras, esto puede conducir a resultados inconsistentes ya que, cuando algunas variables varían de manera conjunta, dicha relación debe incluirse en el programa para evitar escenarios poco probables. Por ejemplo, si el tiempo de espera del avión en cabecera de pista para el despegue depende del número de vuelos por hora, no tiene sentido que el programa pueda elegir un valor de tiempo de espera alto y simultáneamente un número de vuelos por hora bajo.

Cuando hay varias variables que dependen de la renta y no se introduce la correlación existente entre elaas, puede subestimarse el riesgo del proyecto de manera que el decisor no aprecie en su justa medida las consecuencias de una reducción de la tasa de crecimiento de la renta.

Un procedimiento para evitar que el programa genere resultados inconsistentes, consiste en crear una matriz de correlaciones en la que, con valores entre [–1, 1], se le indica al programa la relación que existe entre una variable y las demás. En el caso de una variable precio y otra de demanda, si se conoce el valor de la elasticidad que relaciona la variación de ambas dentro de un intervalo conocido, podremos forzar al programa a que elija pares de valores compatibles de precio y cantidad.

2.3.3. Criterios de decisión bajo incertidumbre

Una vez que el programa informático ha realizado un número suficientemente alto de iteraciones, los resultados obtenidos pueden mostrarse como una función de distribución de probabilidad, que permite calcular la probabilidad asociada a que el *VAN* del proyecto se sitúe por encima o por debajo de un determinado valor, o dentro de un intervalo de valores posibles.

El *VAN* del proyecto no es ahora una cifra única a la que se le concede mayor o menor significación según la aversión al riesgo del agente decisor. Ahora, disponemos de una distribución de probabilidad de los resultados del proyecto, lo que permite tomar una decisión más fundamentada.

Obviamente, el riesgo del proyecto es exactamente el mismo con el análisis simple de valores esperados, que con un *test* de sensibilidad, con la utilización de escenarios o con simulaciones de Montecarlo; sin embargo, **el riesgo de tomar una decisión equivocada disminuye tras un análisis de riesgo bien planteado.**

Cuando **la decisión se refiere a elegir qué proyecto de inversión debe realizarse**, ésta debe formularse teniendo en cuenta si existen o no otros proyectos alternativos.[31] En cada caso tenemos tres posibilidades, tal como resume el cuadro siguiente.

Cuadro 2.3. Criterios de decisión bajo incertidumbre

Realizar un proyecto	Decidir sobre un único proyecto Caso 1: Rechazar siempre el proyecto Caso 2: Aceptar el proyecto (condicionado al resultado financiero) Caso 3: Aceptar / rechazar / revisar el proyecto
	Decidir entre dos (o más) proyectos Caso 4: Un proyecto siempre resulta preferible a otro Caso 5: La selección depende del resultado financiero Caso 6: La selección depende de la actitud ante el riesgo

[31] En la **Subsección 2.3.5** consideramos como proyecto alternativo, el retrasar el proyecto objeto de evaluación.

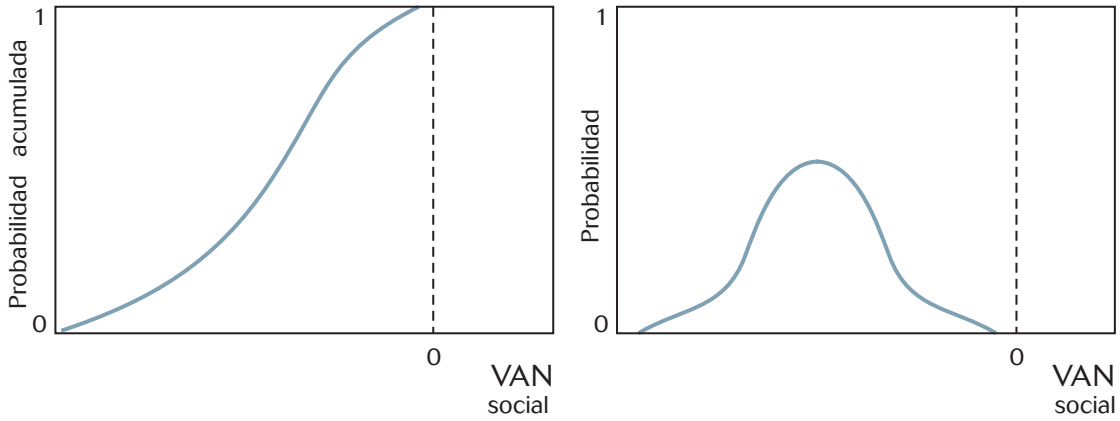
Criterios para decidir sobre un único proyecto

Caso 1: rechazar siempre el proyecto

Cuando se evalúa un único proyecto y la decisión consiste en decidir si éste se lleva a cabo o no, una primera posibilidad (**Caso 1**) es que el proyecto deba ser rechazado siempre. Esto ocurre cuando la distribución de probabilidad del *VAN* social está situada a la izquierda del punto donde $VAN_s = 0$, y por tanto el valor más alto posible que podría alcanzar el *VAN* social es siempre menor que cero. No es necesario evaluar el *VAN* financiero.

Este caso se representa en la figura siguiente, donde el panel izquierdo corresponde a una supuesta función de distribución y el derecho a la función de densidad.

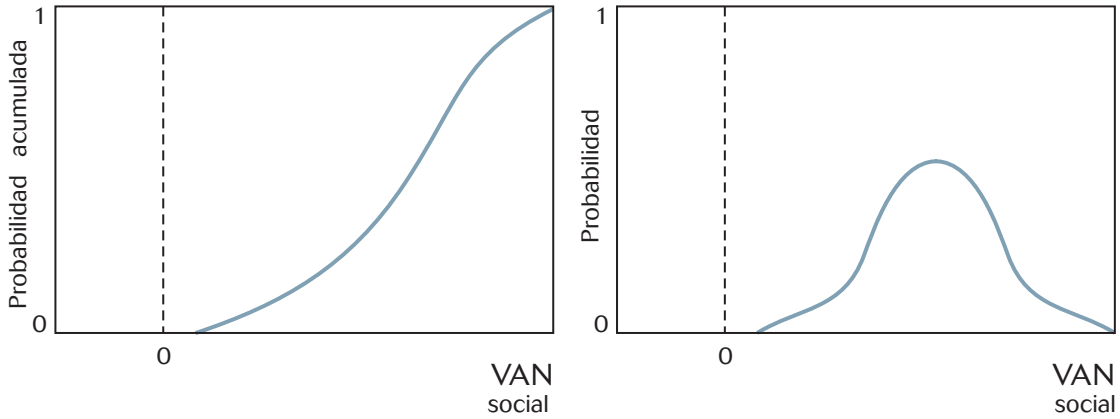
Figura 2.15. Rechazar siempre un proyecto (Caso 1)



Caso 2: aceptación condicionada.

Una segunda posibilidad (**Caso 2**) se presenta cuando la distribución de probabilidad del *VAN* social está situada totalmente a la derecha del punto donde el VAN_s=0, por lo que el valor más bajo posible que podría alcanzar el *VAN* social del proyecto es siempre positivo.

Figura 2.16. Aceptar (condicionalmente) un proyecto (Caso 2)



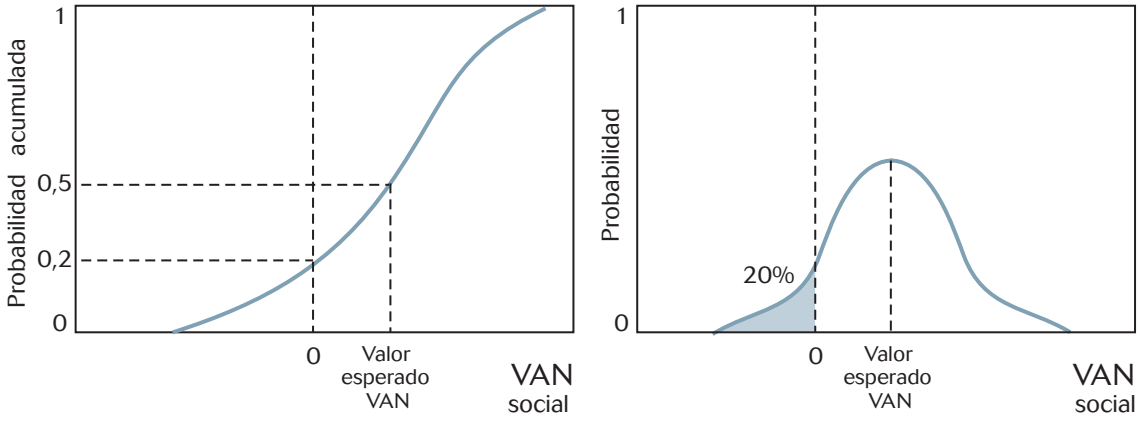
Sin embargo, esto no significa necesariamente que el proyecto deba realizarse: sólo si el *VAN* financiero es igual o mayor que cero,[32] el proyecto debe ser aceptado. Si el *VAN* financiero fuera menor que cero y existieran restricciones presupuestarias deberían examinarse otras políticas de precios o de nivel de servicio, tal como se indicaba en el **Cuadro 2.1**.

Caso 3: aceptar, rechazar o revisar

Cuando la distribución de probabilidad del *VAN* social sitúa su valor más bajo posible por debajo de cero y el valor más alto posible es positivo, la decisión se basa en el valor esperado del *VAN* social que puede ser positivo o negativo, y en la probabilidad de que dicho *VAN* pueda tomar valores negativos.

Si el valor esperado del *VAN* social es positivo y el *VAN* financiero es igual o mayor que cero, debe aceptarse el proyecto si se considera que la probabilidad acumulada de los valores negativos (sombreada en la **Figura 2.17**) es razonablemente baja. De nuevo, si el *VAN* financiero es negativo y existen restricciones presupuestarias deberían examinarse otras políticas de precios.

Figura 2.17. Aceptar, rechazar o revisar un proyecto (Caso 3)



Podría afirmarse que con un valor esperado del *VAN* social positivo el proyecto debería realizarse, sin embargo, si la probabilidad de ocurrencia de valores negativos del *VAN* alcanza un valor alto, de acuerdo con el criterio de la agencia pública responsable, puede ser razonable replantarse el proyecto.

Supongamos, por ejemplo, que tal como refleja la **Figura 2.17** los valores negativos del *VAN* pueden ocurrir con una probabilidad del 20%. Aunque, tal y como muestra dicha representación gráfica, el *VAN* esperado es positivo, la agencia responsable puede considerar razonable no ignorar la información complementaria que la función de probabilidad ofrece sobre el riesgo del proyecto, y estudiar la manera de reducirlo mediante más información, la modificación de la política de precios y nivel de servicio, la utilización de contratos adecuados, etc. con el fin de reducir la probabilidad de los valores negativos del *VAN*.

Decidir entre dos (o más) proyectos[33]

Caso 4: un proyecto siempre es mejor

Cuando la decisión consiste en elegir entre proyectos alternativos, por ejemplo, **A** y **B**, una primera y sencilla posibilidad sería que uno de los proyectos siempre resultase mejor (o peor) que otros.

[32] En la práctica, el *VAN* financiero es también una variable aleatoria con su correspondiente distribución de probabilidad. Para simplificar el análisis el *VAN* financiero se trata en esta sección como una variable determinista. No obstante, en casos más complejos, y probablemente menos frecuentes, habría que considerar de manera explicita la distribución de probabilidad del *VAN* financiero.

[33] También podría tratarse del mismo proyecto, pero con distintas políticas de precios o niveles de inversión.

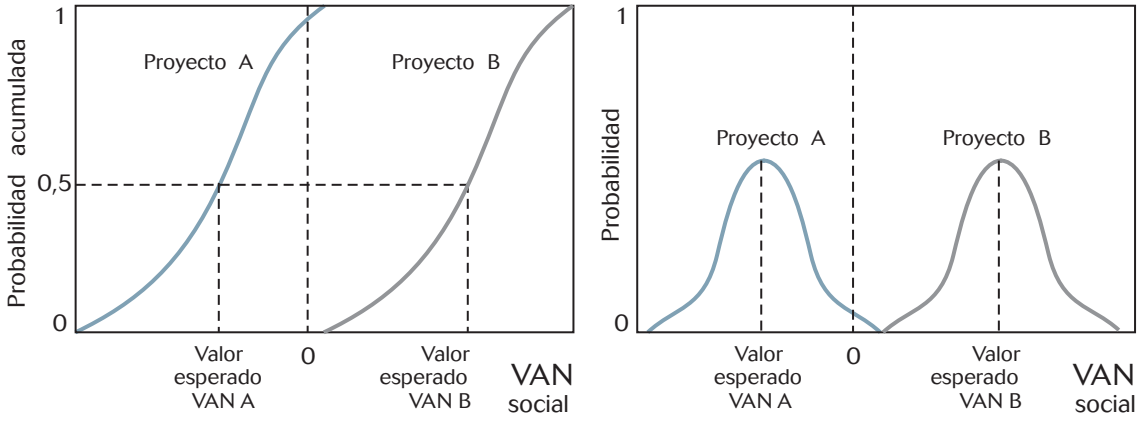
Eso ocurre por ejemplo en el **Caso 4**, cuando las correspondientes distribuciones de probabilidad no se cruzan en ningún punto y una de ellas es claramente preferible a la otra. En la **Figura 2.18**, por ejemplo, se observa que la distribución del *VAN* social del proyecto **B** toma siempre valores más altos que la del proyecto **A**. Sin embargo, ello no significa automáticamente que el proyecto deba realizarse (se requiere además un *VAN* financiero positivo).

En el caso en que el proyecto **B** tuviese un *VAN* financiero negativo, es aplicable lo expuesto en el **Caso 2**, relativo a la reconsideración de políticas de precios y nivel de servicio que mejoran el *VAN* financiero reduciendo el *VAN* social, cuando la restricción presupuestaria no permite la aprobación del proyecto basada en el *VAN* social exclusivamente.

Caso 5. La selección depende del resultado financiero...y del riesgo

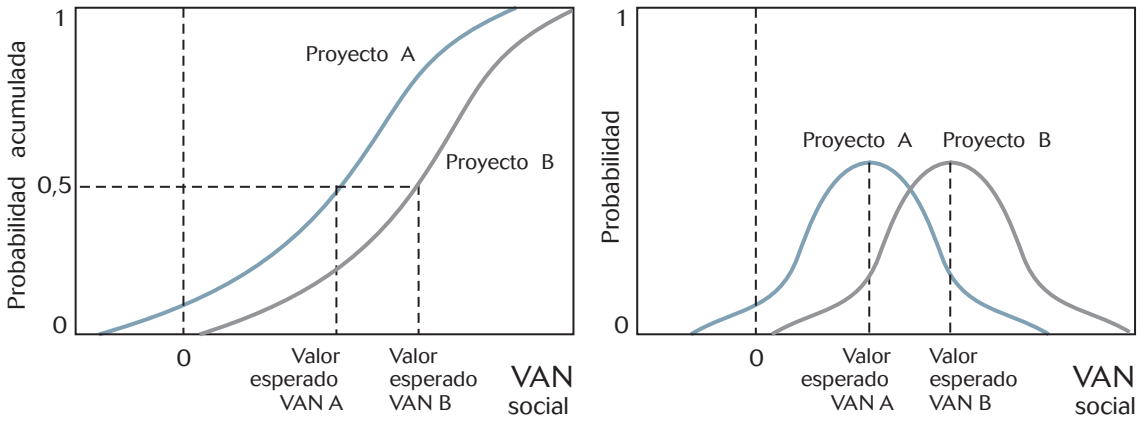
En otras ocasiones, aunque las distribuciones de probabilidad acumulada de ambos proyectos no se crucen, sí lo hacen las funciones de densidad. Ahora (**Caso 5**) la elección dependerá del *VAN* financiero de ambos proyectos. Si el *VAN* financiero es positivo en ambos, debe elegirse el proyecto que tenga un *VAN* social esperado mayor (el **B** en la **Figura 2.19**).

Figura 2.18. Un proyecto es siempre preferible a otro (Caso 4)



Si el *VAN* financiero es negativo en ambos proyectos y existen restricciones presupuestarias deben examinarse otras políticas de precios. Si el *VAN* financiero del proyecto **A** es mayor que cero y el de **B** es menor que cero, debe elegirse el **A** si la disponibilidad de fondos no permite elegir el de mayor *VAN* social esperado, y el riesgo asociado al proyecto **A** no se considera un problema (en el caso representado en la **Figura 2.19** la probabilidad de valores negativos del *VAN* social es muy baja).

Figura 2.19. La decisión depende del resultado financiero (Caso 5)



Caso 6: La selección depende del riesgo…y del resultado financiero

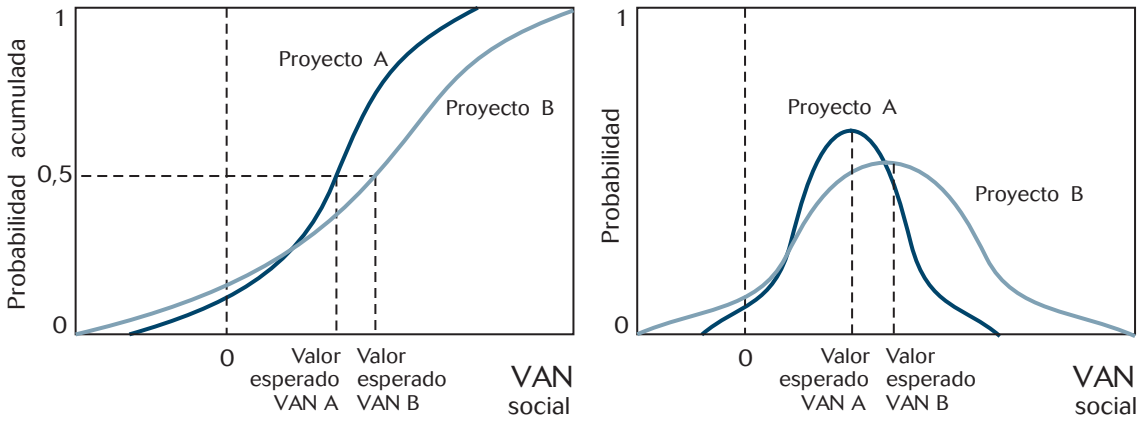
Finalmente, cuando se tiene que decidir entre los proyectos **A** y **B**, y sus distribuciones de probabilidad acumulada de ambos se cortan, la elección también dependerá del *VAN* financiero de ambos proyectos y del riesgo asociado a los mismos:

- Si el *VAN* financiero es positivo en ambos casos, debe elegirse el que tenga un *VAN* social esperado mayor (el **B** en la **Figura 2.20**) a menos que la mayor variabilidad del proyecto **B** aconseje decantarse por un proyecto de menor VAN pero menos arriesgado.

- Si el *VAN* financiero es negativo en **A** y **B** y existen restricciones presupuestarias deben examinarse otras políticas de precios y nivel de servicio.

- Si el *VAN* financiero del proyecto **A** es mayor que cero y el de **B** es menor que cero, debe elegirse el **A** si la disponibilidad de fondos no permite elegir el de mayor *VAN* social esperado. Este criterio se ve reforzado si el riesgo asociado al proyecto **A** es menor, como ocurre en el caso representado gráficamente.

Figura 2.20. La decisión depende del riesgo (Caso 6)



En el caso representado en la **Figura 2.20**, la elección del proyecto de mayor *VAN* social esperado (**B**) tiene asociado un mayor riesgo que el proyecto de menor *VAN* social esperado (**A**). Si el decisor es neutral al riesgo, la elección del proyecto **B** (mayor valor esperado pero mayor variabilidad) es el criterio de decisión, pero si la agencia no desea asumir la mayor probabilidad de obtener un *VAN* social negativo en **B** habría que examinar con más detenimiento la naturaleza del riesgo de estos proyectos.

2.3.4. La decisión de retrasar un proyecto

Frente a la decisión de "construir ahora" (eligiendo entre uno o más proyectos) **en muchas ocasiones debe considerarse también la opción de retrasar la ejecución del proyecto**. Incluso con un VAN social y financiero positivo, es posible que sea socialmente rentable esperar, ya que podría ocurrir que esperando mejore el resultado porque la demanda está creciendo o bien que se revele información no disponible en el presente. Consideremos con detalle las dos posibilidades.

Cuando no se revela información adicional por el hecho de esperar

En este caso se trata simplemente de ver si es más rentable invertir en el presente o esperar al año próximo. Pueden existir múltiples circunstancias que hagan rentable posponer el proyecto, cuando esto es técnicamente factible. Quizá la demanda está creciendo y el beneficio social derivado de atender la demanda del primer año no compensa el coste de oportunidad de los fondos a invertir.

Si se retrasa el proyecto se pierde el beneficio del primer año y se gana el correspondiente a la prolongación del proyecto en un año (B_{T+1}). A cambio se gana el tipo de interés sobre el valor de la inversión. Por tanto, conviene esperar si:

$$\frac{iI}{1+i}+\frac{B_{T+1}}{(1+i)^{T+1}}>\frac{B_1}{1+i} \qquad (2.28)$$

La desigualdad estricta anterior recoge, en el primer miembro, el valor presente del beneficio de posponer el proyecto un año, y que consiste en el pago de intereses sobre la cuantía de la inversión multiplicado por el factor de descuento, y los beneficios actualizados que se ganan en el periodo T+1 como consecuencia de empezar el proyecto un año más tarde. En el segundo miembro, aparece el beneficio perdido en el año 1, por retrasar el proyecto.

Suponiendo que el beneficio en el año T+1, una vez descontado, no es significativo, la expresión (2.28) se reduciría a:

$$\frac{B_1}{I}<i \qquad (2.29)$$

donde, B_1/I es la tasa de rentabilidad de la inversión en el primer año. **Si dicha tasa es menor que la tasa social de descuento es preferible retrasar en un año la aprobación del proyecto.**

Cuando al retrasar el proyecto se revela información adicional

A veces retrasar un proyecto revela información valiosa y el valor de dicha información se pierde cuando se realiza la inversión en el presente. Cuando la inversión es irreversible, la demanda está sujeta a incertidumbre y la decisión de invertir puede retrasarse, existe un coste de oportunidad de realizar la inversión en el presente.

Si la opción de retrasar revela información adicional, el invertir hoy supone perder el valor económico de dicha información que se revela esperando, y por tanto debe incluirse como coste en el cálculo del *VAN*.

La utilización del *VAN* supone de manera implícita que, o bien la inversión es reversible y que por tanto cabe rectificar si las expectativas de demanda y costes no son favorables; o bien, que siendo irreversible la opción de retrasar no es factible porque la decisión o se toma en el presente o nunca.

Cuando existe incertidumbre, la inversión es irreversible y podemos retrasar, la regla de decisión que utilizamos para aceptar o rechazar un proyecto (*VAN*>0) sigue siendo valida siempre que se incluya en los costes el coste de oportunidad que supone invertir en el presente cuando posponer la inversión revela información con valor económico.[34]

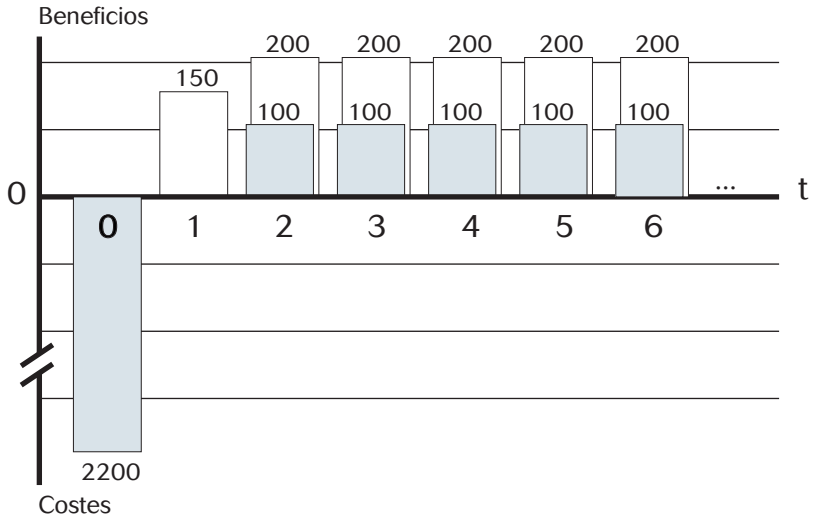
La decisión de retrasar: un ejemplo

Alternativamente el análisis anterior puede realizarse eligiendo entre dos proyectos: uno consistente en invertir en el presente y otro retrasando la inversión con el fin de poder calcular el VAN de ambos y elegir el que tenga un *VAN* mayor.

Consideremos como ejemplo, tal como ilustra la **Figura 2.21**, un proyecto de inversión en infraestructura portuaria destinada al tráfico de trasbordo de contenedores.

[34] Véase Pindyck, R.S. (1991): "Irreversibility, Uncertainty, and Investment" *Journal of Economic Literature* 29 (3), 1110-1148, y Dixit, A.K. y R.S. Pindyck (1994): *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press.

Figura 2.21. Ejemplo: un proyecto de infraestructura portuaria



El proyecto requiere una inversión inicial de 2200 en el año base. Los beneficios sociales en el año 1 ascienden a 150. En el segundo año, dependiendo de la decisión de una naviera de firmar un contrato de largo plazo con dicho puerto o con otro rival, los beneficios suben a 200 o bajan a 100 con la misma probabilidad y a perpetuidad. La decisión de la naviera se conoce en el año 2. La tasa social de descuento es del 5%.

Estamos ante una inversión irreversible, hay incertidumbre de demanda y la decisión puede posponerse y esperar a conocer la decisión de la naviera. No hay ninguna acción estratégica que pueda afectar a la decisión de la naviera, ni otros beneficios o costes sociales que los mencionados.

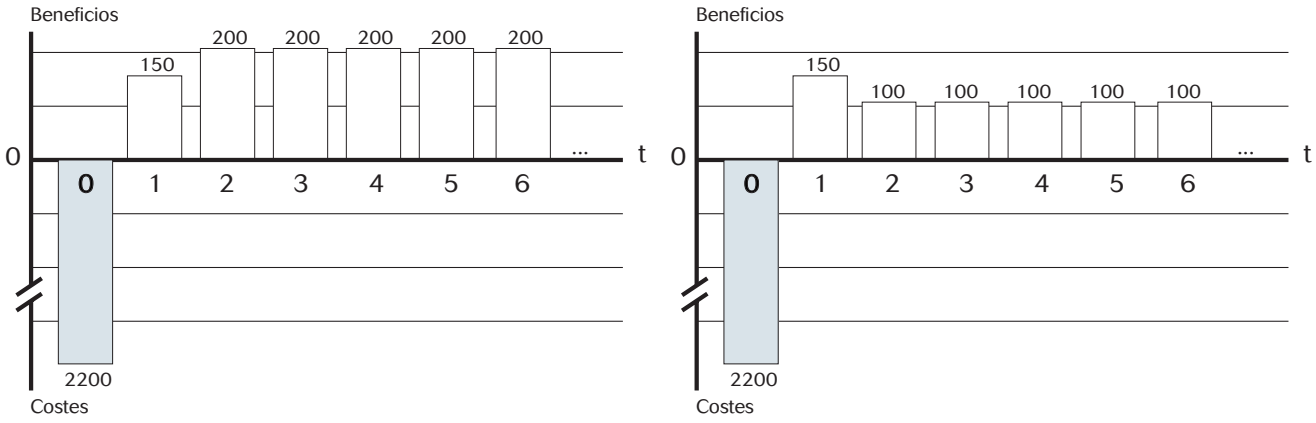
El *VAN* esperado de esta inversión en la infraestructura portuaria es el siguiente:

$$E(VAN) = -2200 + \frac{150}{1+i} + \sum_{t=2}^{T} \frac{100 \cdot (0,5) + 200 \cdot (0,5)}{(1+i)^t} = 800 \qquad (2.30)$$

Como se ha indicado, una vez realizada la inversión y trascurrido el primer año (con beneficios seguros de 150), los beneficios el resto de los años pueden aumentar hasta 200 o descender hasta 100 con igual probabilidad, dependiendo de la decisión de la naviera.

Por tanto el *VAN* real del proyecto si no hay contrato será:

Figura 2.22. Dos casos posibles: beneficios altos o bajos



$$VAN_{(no\ contrato)} = -2200 + \frac{150}{1+i} + \sum_{t=2}^{T} \frac{100}{(1+i)^t} = -153 \tag{2.31}$$

En el caso en que la naviera firme el contrato:

$$VAN_{(contrato)} = -2200 + \frac{150}{1+i} + \sum_{t=2}^{T} \frac{200}{(1+i)^t} = 1752 \tag{2.32}$$

Estos resultados muestran que la inversión producirá pérdidas de 153 con una probabilidad de 0,5 y beneficios de 1752 con probabilidad de 0,5. Por tanto, el *VAN* esperado es igual a -153·(0,5)+1752·(0,5)=800, resultado que ya habíamos obtenido en (2.30). Si el agente que toma la decisión es neutral al riesgo, el proyecto es aceptado.

Discusión

Es interesante observar que **este proyecto supera el *test* de retrasar un año, si lo aplicamos sin considerar la información que se revela en el año dos**. La cantidad monetaria que resulta de aplicar el tipo de interés a la inversión es inferior al beneficio del primer año, por lo que aparentemente no ganamos retrasando.

Sin embargo, en realidad retrasar no sólo supone perder el beneficio del primer año y ahorrar el coste de oportunidad de la inversión recogido en la tasa de descuento. **Existe un beneficio adicional que consiste en obtener información valiosa por el hecho de esperar.**

Cuando se retrasa el proyecto un año, se pierden los beneficios del primer año, pero ahora sabemos si la naviera firma o no el contrato y por tanto sabemos si los beneficios serán de 100 o 200 desde el año dos en adelante.

Consideremos la alternativa de no invertir en el presente, esperando un año. Una vez calculado el *VAN* esperado, se compara con el *VAN* esperado de invertir en el presente y elegimos la alternativa de mayor *VAN* esperado. Si esperando se revela que la empresa no firma el contrato y los beneficios son igual a 100, la solución es no invertir para no incurrir en pérdidas, con lo que el *VAN* es, en este caso, igual a cero.

Como esto puede ocurrir con igual probabilidad que si se firma el contrato y los beneficios son igual a 200, el VAN esperado de retrasar es igual a:

$$E(VAN)_{(retrasar)} = \frac{1}{2}\left(\frac{-2200}{1+i} + \sum_{t=2}^{T} \frac{200}{(1+i)^t}\right) = 857 \tag{2.33}$$

Comparando el *VAN* esperado de invertir en el presente (800) con el *VAN* de posponer la inversión un año, la decisión es retrasar el proyecto y construir sólo si la naviera decide operar en el puerto.

Es interesante subrayar que el *VAN* esperado de invertir en el presente es positivo y que por tanto el proyecto sería aprobado si la inversión fuese del tipo “ahora o nunca”. Incluso esperar un año no sería rentable si no se revela información adicional. Sin embargo, si la opción de esperar es factible, es como si otro proyecto consistente en esperar se enfrentase al de invertir en el presente. La decisión con el ejemplo anterior es esperar.

La regla convencional de VAN sigue siendo válida si se afronta la evaluación como la elección entre dos proyectos mutuamente excluyentes – uno invertir en el presente; otro, esperar un año – ya que de otro modo, la aplicación mecánica de la regla del VAN conduciría a error.

En realidad, si se tiene en cuenta las limitaciones de información a las que se enfrenta el evaluador de proyectos, no será fácil ir más allá que considerar una o dos alternativas en las que el retraso del proyecto genera información adicional que se pierde al ejecutar la inversión en el presente.

Mantenemos por tanto la regla básica del *VAN* en este *Manual* siempre que en contextos similares a los descritos en este ejemplo, se incluya en los costes de invertir en el presente, el coste de oportunidad de no esperar, o bien se defina la opción de esperar como un proyecto alternativo al de invertir en el presente y se compare el *VAN* de ambos proyectos.

2.4. Completando el modelo básico

2.4.1. Limitaciones del modelo básico

El modelo básico de evaluación de proyectos de transporte descrito en las secciones anteriores permite predecir si un proyecto será socialmente rentable, mediante la comparación de sus corrientes de beneficios y costes esperados, previamente identificados, cuantificados y actualizados con la tasa social de descuento.

En una economía competitiva y con plena utilización de los recursos, sin distorsiones por la existencia de impuestos o efectos externos, los precios de mercado de los factores productivos reflejan los costes de oportunidad de su empleo en los proyectos públicos y los precios de mercado de los bienes reflejan la valoración marginal de dichos bienes por los individuos que componen la sociedad. Asimismo, con un mercado de capitales perfecto, el tipo de interés puede utilizarse como tasa social de descuento.

En el mundo real se dan un conjunto de circunstancias que nos alejan del ideal competitivo. Las empresas venden por encima del coste marginal cuando las imperfecciones de la competencia lo permiten, existen impuestos y subvenciones, y la actividad económica produce efectos positivos y negativos que afectan a individuos no implicados directamente en la transacción de la que surgen dichos efectos.

En esta sección nos ocupamos brevemente de las razones que conducen a la utilización de precios diferentes a los de mercado en el proceso de evaluación (**Sección 2.4.2**), de por qué se utiliza una tasa social de descuento que difiere del tipo de interés de mercado y cuales son los argumentos que apoyan utilizar distintas tasas con el paso del tiempo (**Sección 2.4.3**), de los procedimientos de valoración de los accidentes y bienes medioambientales (**Sección 2.4.4**), de si debemos preocuparnos de los efectos indirectos del proyecto en el resto de la economía o concentrarnos en los efectos directos ignorando los indirectos (**Sección 2.4.5**); y finalmente, de cuales son los incentivos que anidan en los diferentes tipos de contratos y sistemas de precios que se utilizan para la construcción, mantenimiento y operación de los proyectos de transporte, y que tanta importancia tienen para que se materialicen los beneficios esperados (**Sección 2.4.6**).

La cobertura de estos aspectos que se realiza a continuación no pretende ser exhaustiva. **El objetivo es describir la naturaleza del problema desde la perspectiva de la evaluación económica y las soluciones más comunes desde la práctica de la evaluación de proyectos.**

2.4.2. Precios-sombra

Los proyectos de inversión en infraestructuras y servicios de transporte acarrean la utilización de *inputs*, como son los vehículos o los hombres que los manejan, para la obtención de *outputs* como son la posibilidad de transportar mercancías entre dos puntos anteriormente no comunicados, o el de ahorrar tiempo en una ruta anteriormente existente.

El trabajo o la energía utilizados, o el tiempo ahorrado o las muertes evitadas en la carretera deben multiplicarse por un precio con el fin de convertirlos en unidades monetarias que permitan la homogeneización necesaria para calcular la rentabilidad social del proyecto. El precio que hay que utilizar es el que refleja el coste de oportunidad de utilizar los *inputs* o en el caso de los *outputs*, lo que los individuos están dispuestos a pagar por los mismos.

En ausencia de distorsiones significativas el precio de mercado es una buena aproximación al coste de oportunidad o a la valoración marginal del bien.

Es importante subrayar que la unidad de medida en que estén expresados los beneficios y costes es indiferente. Pueden estar expresados a precios de factores o a precios de mercado, en unidades monetarias corrientes o constantes (en términos reales, sin inflación) en moneda nacional o en divisa extranjera.

La elección de una unidad de medida u otra afecta a los valores absolutos pero no al resultado de la evaluación. La decisión de aceptar o rechazar no cambia por la elección de las unidades en que se expresen las magnitudes de las variables del proyecto. Lo realmente importante es que, **con independencia de la unidad de cuenta elegida, los precios que se utilicen reflejen el coste de oportunidad de los *inputs* y el valor del *output* para la sociedad.**

Un ejemplo

Cuando el precio de mercado no refleja dicho coste de oportunidad o no hay un mercado en el que el bien se intercambia, hay que utilizar un "precio-sombra". Veamos un ejemplo con el precio de la energía. Supongamos que en un proyecto se emplean 50 unidades de energía cuyo precio de mercado unitario es de 100. Toda la energía es importada y su coste es de 90, cifra a la que hay que añadir un impuesto recaudatorio de 10. Si bien el precio de mercado es de 100, el coste de oportunidad de utilizar una unidad de energía es de 90, ya que las otras 10 unidades monetarias que forman parte del precio de mercado son una mera transferencia entre consumidores y contribuyentes. El precio-sombra de la energía en este proyecto sería, por tanto, de 90.

El precio-sombra de los factores de producción

Centrándonos en los precios-sombra de los factores de producción,[35] analizaremos a continuación las correcciones más habituales que se realizan en los precios de mercado para obtener el precio-sombra de los factores productivos utilizados en el proyecto.

Los *inputs* habituales en los proyectos de transporte son: suelo, materiales y repuestos, equipo móvil, maquinaria y herramientas, fuerza de trabajo y energía. El precio de estos *inputs* es en principio el de mercado si la economía es competitiva y los recursos están en pleno empleo.

La justificación para utilizar el precio de mercado como aproximación al coste de oportunidad se basa en que en el equilibrio, la última unidad de factor contratada por la empresa recibe un precio igual al valor de su productividad marginal.

Cuando se desvía hacia el proyecto público de transporte una unidad de factor, el coste de oportunidad de dicho factor es el valor de su productividad marginal, es decir el precio de mercado del factor.

- Es importante señalar que en estas condiciones el precio bruto es el coste de oportunidad. Si hubiese impuestos no habría que descontarlos, ya que el valor de lo que deja de producirse es el coste de utilización del factor con independencia de quien se apropia dicho valor, ya sea la empresa, el contribuyente o el propietario del factor.

- En el otro extremo, tenemos el caso en el que la oferta del *input* es perfectamente elástica. Al precio de mercado podemos contratar la cantidad que el proyecto requiera. En este caso, el precio de mercado es el coste de oportunidad. Si dicho precio incluye impuestos o subvenciones, habrá que restar los impuestos y sumar las subvenciones para hallar el coste de oportunidad (suponemos que dichos impuestos y subvenciones no internalizan externalidad alguna).

- En general, cuando la demanda del factor productivo requerido por el proyecto es marginal con respecto al tamaño del mercado de dicho factor y la oferta no es inelástica, el precio de mercado neto de impuestos

[35] Dejamos para el **Capítulo 4**, al discutir los aspectos específicos relativos a la valoración de los bienes para los que no hay mercado, la asignación de valor monetario a una vida estadística y al tiempo de viaje.

recaudatorios es una buena aproximación al coste social de su utilización; sin embargo, cuando el proyecto implica una modificación del precio de mercado del factor, el cálculo del coste de oportunidad de la cantidad de factor que absorbe el proyecto, requiere distinguir entre la cantidad de factor desviado de otros usos como consecuencia de la elevación del precio y la cantidad de factor de nueva oferta.

Suponiendo que podemos estimar el cambio en el precio del factor y la reducción en la cantidad demandada como consecuencia del aumento de la demanda de dicho factor causada por el proyecto que estamos evaluando, habría que utilizar como precio-sombra una media de los precios (brutos) del factor, *con* y *sin* el proyecto, para la cantidad de factor desviada de otras actividades económicas, y la media de los precios (netos de impuestos) para la cantidad de factor anteriormente desempleado. Si hubiese subsidio de desempleo también habría que descontarlo.

El caso particular del suelo como factor productivo

En el caso de la utilización de suelo, la determinación del precio-sombra es en principio similar a cualquier otro factor productivo, aunque debe subrayarse que el valor histórico de los terrenos, o el contable que figure en la agencia pública donde dicho terreno está registrado, no tienen por qué reflejar el coste de oportunidad de dichos terrenos.

La utilización de suelo en el proyecto supone un coste de oportunidad que es igual al beneficio perdido en el mejor uso posible de dicho suelo. Por ejemplo, si el mejor empleo está en la agricultura, el valor de mercado de la producción agrícola durante el tiempo de utilización del suelo para el proyecto (a perpetuidad en muchos casos), debidamente descontado, sería una buena aproximación del coste de oportunidad.

Si el mercado del suelo es competitivo, el precio del terreno será un fiel reflejo del coste de oportunidad, aunque la determinación del coste de oportunidad del suelo presenta dificultades adicionales, ligadas a los movimientos especulativos a los que está sujeto el mercado inmobiliario y a las externalidades derivadas de su uso sobre áreas colindantes:

1. Respecto al primer problema, es importante señalar que la construcción de nuevas infraestructuras revalorizan los terrenos colindantes a los que beneficia por dar mayor accesibilidad. **La dificultad es que dicha revalorización no representa el coste de oportunidad del suelo utilizado en la construcción de la infraestructura sino la capitalización de los beneficios del proyecto.** Podría pensarse que esto no es problema porque dicha revalorización se produce una vez que el proyecto esta en marcha. Sin embargo, en muchas ocasiones esto no es así, y la revalorización de los terrenos se produce antes, una vez que los agentes económicos anticipan lo que va a ocurrir en dichos terrenos. **Tener esto en cuenta es importante porque lógicamente no queremos incluir en el coste del proyecto parte de sus propios beneficios.**

2. El segundo problema con el precio-sombra del suelo se refiere a los efectos sobre terrenos colindantes que no están sujetos a transacciones de mercado. Cuando la infraestructura proyectada requiere la utilización de suelo no sujeto al mercado libre como, por ejemplo, el caso de una autopista que atraviesa un paraje natural, la valoración económica de este suelo requiere calcular **el coste de oportunidad del recurso, más allá de las eventuales expropiaciones que se tengan que producir, estimando a qué está renunciando la sociedad por el hecho de perder la utilización original del suelo.** Esto significa que no basta con calcular el coste de la superficie utilizada, ya que los alrededores posiblemente sufrirán el efecto barrera propio de este tipo de proyectos, reduciendo el valor inicial del paraje afectado y elevando por tanto el coste del suelo.

Precio-sombra e impuestos

Recordemos que el objetivo último de utilizar precios-sombra en lugar de precios de mercado es el de recoger el coste de oportunidad de los recursos utilizados en el proyecto, cuando el precio de mercado no es un buen indicador de dicho coste de oportunidad. Esto es lo que ocurre en el caso de los fondos públicos procedentes de impuestos y destinados a la construcción y explotación del proyecto.

El problema de la financiación del proyecto con recaudación impositiva radica en que la obtención de dichos fondos supone un coste a la economía que hace que una unidad monetaria invertida tenga un coste superior a la unidad. **Si se invierte una unidad monetaria obtenida mediante impuestos, el coste de oportunidad de dicha unidad ha de incluir el coste de la distorsión originado por el impuesto.**

La introducción de impuestos indirectos sobre el consumo reduce la cantidad de equilibrio originando una pérdida de eficiencia que ha de incluirse en el coste del proyecto. Un impuesto sobre el trabajo cambia la elección de los individuos entre horas de trabajo y de ocio. En cualquier caso, el coste de la distorsión forma parte del coste en el que incurre la sociedad cuando realiza proyectos públicos financiados con impuestos.

La evidencia internacional presenta un rango muy amplio de valores, que con frecuencia superan el 20-30% de lo recaudado, lo que se traduciría en un precio sombra de los fondos públicos de 1,2 o 1,3. Este precio-sombra ha de utilizarse para los costes y también para los ingresos que procedan del pago directo de los usuarios. No debe utilizarse para modificar las corrientes de beneficios o costes que no se traducen en ingresos (excedente del consumidor o externalidades).

En contra de un multiplicador sombra de los fondos públicos superior a la unidad se ha argumentado que los impuestos, aunque sean recaudatorios corrigen a veces externalidades, y también que la evidencia empírica muestra un amplio rango que incluye valores negativos. Partiendo de estos hechos, puede ser razonable, a falta de valores propios, multiplicar los fondos públicos, procedentes de impuestos o los ingresos del proyecto que reducen la necesidad de impuestos, por una distribución de probabilidad uniforme de valor mínimo 1 y máximo 1,25.

Cuestiones prácticas

Existen dos cuestiones prácticas importantes en la utilización de precios-sombra:

1. La primera ya ha sido comentada anteriormente, y advierte de la necesidad de tener en cuenta las consecuencias financieras y sobre la elección de tecnologías alternativas cuando se utilicen precios-sombra en proyectos cuyo *output* está situado en mercados competitivos, como es el caso de un puerto o aeropuerto internacional. En estas circunstancias, hay que tener presente que los precios sombra de los *inputs* no serán los que realmente se paguen y por tanto, a menos que el precio del factor reciba subvención, habrá que utilizar los precios de mercado de los *inputs* para el cálculo del precio del *output* final y la predicción de la demanda,

2. Las dificultades prácticas para el cálculo de los precios-sombra y la utilización en este *Manual* de un modelo con variables aleatorias en lugar de determinista, aconseja seguir la recomendación de Johansson (1993) cuando no tengamos certeza de cuál es el origen de los factores que el proyecto empleará. Se trata de fijar un límite superior y un límite inferior como precio-sombra:

- La utilización de un límite superior de los costes del proyecto supone el pleno empleo de los recursos en la economía. En este caso, el coste de oportunidad de utilizar los factores es el más alto posible ya que su empleo en nuestro proyecto desplaza su uso de otras actividades económicas donde se pierde el valor de lo que deja de producirse. El precio-sombra de los factores productivos es por tanto su precio de mercado incluyendo los impuestos indirectos y cualquier otro impuesto específico.

- La utilización del límite inferior supone que los factores productivos que se emplean en el proyecto están desempleados y por tanto ni los trabajadores ni otros *inputs* se desvían de otras actividades productivas. Cuando estamos en este caso, el coste de oportunidad de utilizar el factor trabajo excluye los impuestos y el subsidio de desempleo con el fin de estimar el valor del ocio o de cualquier otra actividad que estuviese realizando el trabajador. En el caso de otros *inputs* se descuentan los impuestos para calcular el coste marginal de producir dichos *inputs*.

2.4.3. Tasa social de descuento

La elección de la tasa social de descuento tiene un impacto considerable en la rentabilidad del proyecto. Su importancia contrasta con las dificultades casi insalvables para determinar con exactitud su valor. La tasa social de descuento convierte a valores del año base los flujos de beneficios y costes de los proyectos. La orientación de este *Manual* en términos de búsqueda del rango posible de valores del *VAN* del proyecto y de sus respectivas probabilidades es compatible con la utilización de varias tasas de descuento a lo largo de la vida del proyecto.

La tasa social de descuento es el parámetro que determina las equivalencias entre valores presentes y futuros. Una tasa social de descuento del 10% en términos reales, por ejemplo, implica que 672,7 unidades monetarias constantes dentro de 20 años equivalen a 100 unidades monetarias en el presente, y que por tanto la sociedad no esté interesada en realizar un proyecto que aporta beneficios inferiores a 672,7 unidades monetarias dentro de 20 años si hay que invertir 100 hoy para obtenerlos.

Los proyectos de inversión típicos en infraestructuras de transporte consisten en sacrificar consumo presente para obtener unos servicios relacionados con el desplazamiento de personas y bienes durante 30 o 40 años. A veces los proyectos unen por primera vez dos puntos en la geografía o suponen la mejora de una infraestructura anteriormente inexistente, pero en la mayoría de las ocasiones se trata de realizar en menor tiempo y en mejores condiciones de fiabilidad y confort unos desplazamientos que ya se realizaban por una ruta o infraestructura menos conveniente, o mediante la utilización de otro modo de transporte.

Decidir sobre la rentabilidad social de un proyecto de estas características exige identificar y cuantificar los beneficios y costes durante la vida del mismo, y ponderar dichos beneficios y costes con los factores de descuento anuales que se obtienen una vez determinada la tasa social de descuento.

La rentabilidad del proyecto dependerá en muchas ocasiones del valor de dicha tasa, que en teoría debe reflejar la preferencia de la sociedad entre consumo presente y consumo futuro, pero que además implica valorar los beneficios y costes de individuos que todavía no han nacido.

Hay **tres candidatos para la tasa social de descuento**:

1. el tipo de interés de mercado,

2. la tasa marginal de preferencia temporal, y

3. la tasa marginal de productividad del capital.

Las tres coinciden cuando el mercado de capitales es perfecto. La realidad dista notablemente de este supuesto y la sola presencia de impuestos sobre los beneficios de las empresas y sobre el rendimiento del ahorro hace que las tres tasas tomen valores diferentes.

En una economía sin distorsiones, el tipo de interés de mercado representa el coste de oportunidad del capital destinado a la financiación de los proyectos de inversión. Se obtiene en el mercado de capitales donde la oferta y demanda de fondos prestables encuentran un valor que hace que se igualen el ahorro ofrecido con los préstamos demandados; o lo que es lo mismo que se iguale lo que el ahorrador pide de remuneración para desprenderse de una unidad monetaria (tasa marginal de preferencia temporal) con la rentabilidad marginal de dicha unidad de ahorro en el proyecto de inversión a que se destina. El mercado tiende a igualarse porque las opciones de inversión en la economía tienen productividad marginal decreciente, mientras que el ahorro es una función creciente del tipo de interés.

En un mercado de capitales con impuestos la tasa marginal de productividad del capital es mayor que el tipo de interés ya que una vez realizado el proyecto habrá que pagar impuestos sobre los dividendos; de igual manera la tasa marginal de preferencia temporal será inferior al tipo de interés ya que el ahorrador ahorra con remuneraciones netas de impuestos inferiores a dicho tipo.

¿Qué tasa debemos utilizar?

¿En el descuento de los flujos de beneficios y costes puede utilizarse la tasa que refleja las preferencias entre consumo presente y futuro o la que refleja el coste de oportunidad del capital en los proyectos de inversión del sector privado? Hay dos alternativas para la elección:

- La primera consiste en utilizar ambas, hallando una media ponderada según el origen de los fondos que se utilizan en el proyecto público. En este caso, la información que se requiere está relacionada con la procedencia de los fondos. Si se utilizan fondos que hubiesen sido destinados a proyectos de inversión privada, habrá que utilizar la tasa marginal de productividad del capital para dichos fondos y si el origen de los fondos es el ahorro privado, la tasa marginal de preferencia temporal.

- La segunda, utilizando la tasa marginal de preferencia temporal actualizar los flujos de beneficios y costes, previamente convertidos en unidades de consumo. Ahora la información que se requiere es aún mayor, ya que se necesita conocer el destino de los beneficios de cada año (si van a ser invertidos o consumidos) para convertir la proporción que va a ser destinada a inversión en unidades de consumo mediante un precio-sombra del capital invertido.

Ante las dificultades de información, la práctica de la evaluación de proyectos se caracteriza por la utilización de tasas de descuento que no se sabe muy bien si responden a las aproximaciones descritas o a criterios pragmáticos no explicitados.

La variabilidad es alta y simultáneamente, en países de características similares han coexistido tasas que van desde el 5% al 8% sin que podamos encontrar las razones económicas que justifican dicha diferencia.

Una alternativa es utilizar el tipo de interés a largo plazo de los bonos del tesoro, en la creencia de que en el sector privado no se acometerán inversiones con una rentabilidad marginal inferior a aquélla. Sin embargo, no debe olvidarse que cuando existen impuestos sobre el beneficio, las tasas de rendimiento marginal de la inversión han de ser mayores que el tipo de interés; y en el caso de impuestos sobre fondos ofrecidos por los ahorradores que no desplazan proyectos privados, pueden encontrarse tasas sociales marginales de preferencia temporal muy bajas.

Otras formas de descuento

Otra cuestión práctica en el descuento concierne a como tratar los beneficios y costes que afectan a generaciones venideras. El descuento exponencial aplicado a largos periodos de tiempo empequeñece los beneficios y costes que afectan a individuos aún no nacidos. La pregunta es si debe utilizarse la misma tasa para todos los años.

Parece haber cierto acuerdo en que para los efectos de muy largo plazo y para impactos sobre el riesgo de muerte y el medioambiente, la tasa de descuento no debería ser la misma que para los efectos en el corto plazo. La irrelevancia de los beneficios y costes al aplicar el descuento exponencial no se corresponde con las preferencias de los individuos cuando a estos se les ha preguntado sobre su *trade-off* entre salvar vidas en el presente y en el futuro, o simplemente cuando se hace la media de los factores de descuento entre distintos individuos en lugar de la media de sus tasas de descuento. Veamos ambos argumentos:

1. El primer argumento a favor de utilizar tasas de descuento decrecientes se basa en que las preferencias de los individuos pueden ser incompatibles con la aplicación del descuento exponencial cuando se trata de vidas humanas. Supongamos que la tasa social de descuento es del 6% y que además los individuos son indiferentes entre que se salve una vida anónima en el presente o tres dentro de treinta años. Parece evidente que éste es el *trade-off* que debe utilizarse para valorar el proyecto, sin embargo si aplicamos el descuento exponencial estaríamos implícitamente diciendo que el *trade-off* es de una vida por 5,74 dentro de 30 años. Si aceptamos las preferencias de los individuos en este ejemplo la tasa de descuento que habría que utilizar es del 3,73% y no la del 6%.[36]

[36] Véase Cropper, M.L., Aydede, S.K. y Portney, P.R. (1992): "Rate of Time Preference for Saving Lives", *American Economic Review* (Papers and Proceedings) 82(2): 469-472.

2. El segundo argumento es más técnico y puede resumirse en que si la sociedad está compuesta por individuos que tienen diferentes tasas de descuento, y se quiere utilizar una tasa de descuento medio, es incorrecto hallar la media a partir de la distribución de las tasas individuales para obtener la tasa social de descuento. La media hay que obtenerla con los factores de descuento, y no con las tasas de descuento.[37]

Un ejemplo

Supongamos que una economía está compuesta por dos individuos cuyas tasas de descuento son del 1% y 10% respectivamente. Si se utiliza la media de dichas tasas (5,5%) para actualizar beneficios de, por ejemplo, 100 millones de dólares en 300 años, obtendremos 10,6 dólares en el presente, lo que no se corresponde con la media de las valoraciones individuales.

El valor actual de los 100 millones en 300 años es prácticamente nulo para el individuo cuya tasa de descuento es del 10%, y de 5 millones para el individuo con tasa de descuento del 1%. La media de estas dos valoraciones es de 2,5 millones de dólares en el presente y no de 10,6 dólares que resultan de aplicar la media de las dos tasas de descuento. Calculando la tasa de descuento que convierte 100 millones en 300 años en 2,5 millones en el presente, se obtiene una tasa de descuento del 1,2%, muy cercana al valor mínimo de la distribución de las tasas de descuento.

El resultado es general y muestra que en los primeros años, el promediar tasas o factores de descuento no supone una gran diferencia; sin embargo, cuando los beneficios se alejan en el tiempo, al promediar con factores de descuento (que es el procedimiento correcto) las tasas de descuento más altas en la distribución pierden peso en la ponderación cuanto más alejado es el año en el que se produce el descuento. El resultado es que **cuando la sociedad está formada por individuos cuyas preferencias están asociadas a tasas de descuento diferentes, el descontar con tasas de descuento decrecientes es consistente con dichas preferencias individuales.**

2.4.4. Medición monetaria del coste de los accidentes y de los impactos medioambientales

Tanto los accidentes como la contaminación atmosférica, el ruido o la destrucción del paisaje son costes de los proyectos de transporte; o beneficios, si disminuyen como consecuencia de la ejecución del proyecto. Aunque no figuren en la contabilidad de los operadores, son costes para la sociedad de la misma manera que los son la utilización de materiales y repuestos, energía o fuerza de trabajo.

Cuando se evalúa la construcción de una nueva infraestructura hay que incluir entre sus costes el efecto barrera sobre el territorio, la destrucción de espacio natural y el ruido que produce a los habitantes de las áreas afectadas. Estos costes deben figurar junto a los del operador. De igual manera, los accidentes de tráfico evitados por la construcción de un túnel que elimina un tramo con alto riesgo de accidente, son beneficios a sumar a los ahorros de tiempo y costes operativos de los vehículos.

El coste de los accidentes de tráfico (igual podría decirse de los accidentes laborales) está compuesto por la pérdida de la vida de los que mueren, la pérdida de calidad de vida de los heridos, y la pena y el sufrimiento de los familiares y amigos. A esto, hay que añadir, otros costes de naturaleza económica, como la pérdida de producción de las víctimas, los daños materiales y los gastos sanitarios. Dado que en el **Capítulo 4** se trata de manera específica la valoración monetaria de los accidentes, nos limitaremos aquí a argumentar sobre los métodos utilizados para la valoración monetaria de los costes asociados a los accidentes e impactos medioambientales.

El valor de la vida humana y los accidentes

La valoración monetaria de los daños materiales y costes sanitarios asociados a los accidentes de tráfico no tiene mayor complicación que la disponibilidad de datos o problemas de imputación de ciertos costes conjuntos. En el caso de la pérdida de vidas y lesiones el problema se complica al tener que asignar valores monetarios a "bienes" para los que no hay mercado.

[37] Véase Weitzman, M.L. (2001):"Gamma Discounting", *American Economic Review* 91(1): 260-271.

Es oportuno subrayar que lo que los economistas denominan como "el valor de la vida", es en realidad la disposición a pagar por reducir el riesgo de accidente.

Los individuos no están dispuestos a pagar cualquier cantidad por reducir el riesgo de tener un accidente. En la medida en que la sociedad acepta riesgos que podrían reducirse renunciando a otros bienes públicos y privados, es interesante saber en qué proporción están dispuestos los individuos a realizar esta transacción implícita. El término valor de la vida adquiere así una dimensión menos dramática y más práctica, porque en realidad no es el valor de la vida en sentido estricto lo que se busca, sino cuánto están dispuestos a pagar los individuos por aumentar el nivel de seguridad.

Lo que se valora en el análisis coste-beneficio es el aumento o la reducción de la probabilidad de accidente que puede traducirse en lesiones o incluso en la muerte de la víctima. Nos estamos refiriendo al incremento en el riesgo físico por el hecho de emprender una actividad, como construir un edificio o conducir un vehículo. El papel que juega la economía en este contexto, aparentemente alejado del terreno habitual de los economistas, estriba en que los recursos son escasos y la necesidad de elegir entre usos alternativos también cuenta en decisiones que incluyen el bien seguridad.

Para ejemplificar la utilidad de cuantificar en términos monetarios el número de muertes, supongamos que el valor estadístico de una vida anónima se ha calculado en 2 millones de dólares y que se está procediendo a la elección de varios proyectos dentro de un presupuesto limitado. Los beneficios de los proyectos son mayoritariamente ahorros de tiempo y de costes operativos, más un proyecto cuyo beneficio único consiste en eliminar un "punto negro" donde mueren una media de diez personas anualmente. La simple inclusión de 20 millones de dólares anuales adicionales podría situar este proyecto por encima del resto.

En este *Manual* se pretende que la pérdida de vidas y lesiones que se derivan (o que se evitan) como consecuencia de la ejecución de un proyecto, reciban un tratamiento adecuado en los cálculos de rentabilidad social. Mantener una posición radical contra dicha valoración, puede simplemente suponer que las vidas perdidas, o las muertes evitadas, reciban un valor cero. No se trata de calcular el valor de la vida en un sentido literal, sino de aproximarse a la valoración implícita de la sociedad acerca de cuánto está dispuesta a sacrificar de los recursos disponibles por reducir el riesgo físico y por tanto para reducir el número de muertes anónimas.

Los costes medioambientales

Los impactos medioambientales de los proyectos de transporte presentan un problema similar de valoración. Las posiciones sobre en qué medida es razonable imputar valores monetarios a los efectos externos negativos (o positivos) de los proyectos de transporte sobre el medioambiente varían desde el extremo de los que consideran que dar valores monetarios a los bienes ambientales es el comienzo de su degradación a los que consideran que el medioambiente es como cualquier otro bien, sobre el que los individuos tienen preferencias bien formadas y por tanto se le puede asignar un valor monetario.

A medio camino, existen diferentes grados de confianza sobre lo que la aproximación económica puede aportar para incluir el impacto ambiental dentro de un proyecto como un beneficio o coste más.

Existen dos aproximaciones para la valoración de los impactos medioambientales:

1. la que se fundamenta en las **preferencias reveladas** (observadas en el mercado), y

2. la basada en las **preferencias declaradas**, es decir, a las manifestadas por los individuos cuando son entrevistados mediante encuestas diseñadas con el fin de obtener información sobre su disposición a pagar por evitar un daño o alcanzar una mejora medioambiental.

Métodos basados en preferencias reveladas

Dentro de las **preferencias reveladas** los tres métodos más utilizados son: el de los gastos para evitar o mitigar el daño, el de los precios hedónicos y el del coste de viaje.

1. El primer método consiste en **utilizar el gasto realizado por los afectados para protegerse contra el impacto**; por ejemplo, el coste de insonorización de la vivienda en el que incurren los que viven cerca de un aeropuerto. Se trata de una aproximación muy imperfecta porque no tiene en cuenta que el ruido no se evita cuando se está en el exterior de la vivienda o si las ventanas se mantienen abiertas.

2. El segundo método es el de los **precios hedónicos**, y la construcción de un aeropuerto puede también servir para ver en qué consiste. El ruido que se deriva del funcionamiento de un aeropuerto sobre las viviendas afectadas reduce su precio. El método de los precios hedónicos consiste en ver cómo afecta el ruido al precio de la vivienda, comparando los precios de las viviendas cercanas al aeropuerto con otras de similares características, pero con diferentes niveles de exposición al ruido. La hipótesis de partida es que si por viviendas similares los individuos pagan más por las que están sujetas a una menor exposición al ruido, podemos obtener una medición monetaria de la disposición a pagar por evitarlo, y por tanto valorar el ruido en términos monetarios.

3. El tercero, dentro de las preferencias reveladas, es el denominado **método del coste del viaje**. Este método se basa también en la utilización de mercados "aliados" (bienes relacionados con el bien que queremos evaluar) y para los que sí existe mercado. Se trata de estimar una función de demanda que recoja lo que los visitantes que acuden, por ejemplo a un parque natural, están dispuestos a pagar por su uso. Disposición a pagar entendida como precio global o generalizado, en el que se incluye la entrada para entrar en el parque, coste del viaje (gasolina, por ejemplo), gasto en equipo (equipo de pesca, material para escalada, etc.), gastos en el lugar de recreo, y el tiempo invertido en el desplazamiento desde su lugar de residencia. La población la constituyen los individuos que visitan el lugar de recreo.

   Suele emplearse para medir los beneficios que los individuos obtienen del disfrute de actividades de recreo o deportivas al aire libre como la pesca, remo, o simplemente visitas a los parques naturales. Cuanto más lejos vive el visitante más cara es la visita. Habrá una distancia para la que el precio generalizado es tan alto que la demanda es cero. Los individuos realizan un número diferente de visitas de acuerdo con la distancia, la cercanía de sustitutivos, renta, etc. La tarea del analista consiste en obtener una función de demanda para individuos similares en la que se recoja el número de visitas ante los diferentes precios generalizados que pagan al tener que desplazarse desde distancias cada vez mayores.

   Una vez estimada la ecuación que relaciona el número de visitas con las variables explicativas, y como el número de visitas baja cuando el precio generalizado aumenta, el paso siguiente es suponer que elevando el precio de la entrada bajará el número de visitas de acuerdo con los coeficientes estimados a partir de la muestra que integra el conjunto de zonas que genera viajes al parque. De esta manera, se construye una función de demanda convencional con el número de visitas en el eje horizontal y el precio de la entrada en el vertical, cuyos puntos se van obteniendo elevando el precio y viendo cómo afecta el aumento del coste al número de visitas. El precio máximo de reserva es el que haría que no se realizaran visitas al parque.

Los tres procedimientos de valoración descritos han sido utilizados con frecuencia en la valoración de los bienes ambientales y aunque no están exentos de dificultades ligadas a problemas de datos y de especificación de los modelos a estimar, lo cierto es que los economistas se sienten cómodos con estas aproximaciones porque se basan en preferencias reveladas: precios de las viviendas que reflejan el valor actual de los activos durables afectados por la presencia del ruido, o costes monetarios y en tiempo en los que incurren los individuos cuando visitan un parque natural.

Métodos basados en preferencias declaradas

Una limitación de estos métodos es que sólo miden el valor de uso, dejando fuera el valor de uso pasivo que ya ha sido reconocido como relevante a la hora de valorar el impacto medioambiental.[38] Para dar un valor monetario al uso pasivo, la alternativa es la creación de un mercado hipotético, encuestando a los individuos, y preguntando directamente cuánto están dispuestos a pagar por preservar una especie o por evitar un daño ambiental como el vertido de petróleo al mar.

[38] Véase National Oceanic and Atmospheric Administration (1993): *Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. Federal Register* 58 10: 4602-4614.

La necesidad de valorar el medioambiente, y de no limitar la valoración al valor de uso del mismo, parece evidente cuando se trata de valorar daños en parajes naturales o a la fauna. No parece razonable limitar el valor de dichos daños a las indemnizaciones que las compañías de seguros tienen que pagar a los directamente afectados. El bien medioambiental tiene naturaleza de bien público, ni es excluible ni rival, y los precios de mercado no reflejan su valor, dada la gran importancia de las externalidades. Muchos individuos estarían dispuestos a pagar por la conservación de los océanos, limpios de contaminación, aunque no disfruten de su uso directo. **El método de la valoración contingente trata de capturar el valor de no uso o valor pasivo, que tienen los bienes ambientales.**

La crítica más seria al método de la valoración contingente se basa en que los individuos no tienen preferencias formadas sobre los bienes medioambientales y que lo que se obtiene en las encuestas son respuestas hipotéticas a preguntas hipotéticas, en un contexto en el que el encuestado suele desconocer aspectos relevantes del bien valorado o manifestar respuestas estratégicas.[39]

Una consideración final sobre la valoración de los bienes para los que no hay mercado concierne a su transferibilidad. En la práctica, y ante la imposibilidad de realizar estudios específicos en la evaluación de un proyecto, se recurre con mucha frecuencia a la utilización de valores obtenidos en otros estudios (y otros contextos). No se trata de desaconsejar esta práctica, ya que es la única alternativa viable en muchos casos, pero si de extremar las cautelas cuando transfiramos valores monetarios de otros estudios.

La dificultad principal con respecto a la transferencia de valores de impactos medioambientales de estudios ya realizados consiste en que dichos valores han sido obtenidos en contextos específicos. Es muy importante saber qué se preguntó exactamente al entrevistado cuando se obtuvo su valoración monetaria de un impacto determinado.

Algunos ejemplos

Un claro ejemplo del riesgo de transferir valores sin considerar previamente como fueron obtenidos es el siguiente (Johansson, 1993):

> Supongamos que a un individuo se le pregunta en un estudio sobre su disposición a pagar por un coche de la marca Jaguar; en un segundo estudio, se le pregunta cuanto está dispuesto a pagar por un Mercedes, y en el tercer estudio por un Volvo. No parece razonable, sumar las tres disposiciones a pagar para obtener la disposición a pagar total de este individuo por los coches.
>
> Hay dos formas correctas y alternativas de proceder. La primera, es preguntar de manera secuencial por la disposición a pagar por un coche condicional a que ya se ha gastado en los otros dos coches. La segunda, preguntar directamente por la disposición a pagar total por coches.

Tal como advierte Johansson, **la transferencia de valores de otros estudios existentes a nuestro proyecto es a menudo equivalente a las preguntas iniciales sobre la disposición a pagar por cada coche, en el sentido de que en realidad estamos agregando disposiciones a pagar que no han sido condicionadas convenientemente.**

La intuición del ejemplo anterior es que si sumamos disposiciones a pagar no condicionadas procedentes de diferentes estudios puede que estemos sobrevalorando el valor de un bien medioambiental; **sin embargo, puede ocurrir lo contrario, que infravaloremos un impacto medioambiental negativo al agregar las valoraciones procedentes de estudios con un contexto diferente, en el que los individuos que respondieron no estaban en una posición condicionada por un hecho determinado relevante en nuestro proyecto.**

Otro ejemplo que ilustra la infravaloración mencionada es la estimación de la disposición a pagar por un sistema de protección que evita el vertido de petróleo sobre un litoral que tiene varias playas. Si sumamos la disposición a pagar para proteger cada una de las playas por separado, estaremos infravalorando el valor que los usuarios conceden a la eliminación del riesgo de contaminación.

---

[39] Para un debate entre los defensores y detractores del método de la valoración contingente, véase el número monográfico de 1994 del *Journal of Economic Perspectives* 8(4).

La razón de la infravaloración es que al sumar las disposiciones a pagar para mantener limpia cada playa, el individuo sabe que tiene alguna de las otras como sustitutivos y por tanto su valoración monetaria de la playa que visita será menor que si se le pregunta cuánto está dispuesto a pagar por preservar el estado actual de la playa condicionado a que las otras también están contaminadas. Para calcular la disposición a pagar total habría que proceder como en el ejemplo de los coches, cuyo resultado en este caso sería una mayor disposición a pagar por preservarlas al condicionar la pregunta a que las demás ya han sido contaminadas.

2.4.5. ¿Deben incluirse los efectos indirectos del proyecto?

La reducción del tiempo de viaje que se deriva de la construcción de infraestructuras o de la introducción de nuevos servicios de transporte, tiene como principal efecto directo la reducción de los costes de las empresas que la utilizan y la mayor disponibilidad de tiempo de los individuos que los utilizan. Este efecto directo se mide multiplicando el tiempo ahorrado por el valor de dicho tiempo.

En una segunda fase de efectos, las empresas aumentan sus beneficios y los consumidores se benefician de precios más bajos, en proporciones que dependerán del grado de competencia en la economía y del comportamiento de los costes ante aumentos de la demanda.

Además, los cambios en los precios de los bienes y servicios afectados por la reducción de costes originados por el proyecto de transporte afectaran a otros mercados de bienes y servicios, que llamaremos secundarios para distinguirlos del mercado primario donde se producen los efectos en una primera fase. Estos efectos se producen por relaciones de complementariedad y sustituibilidad entre los bienes del mercado primario y del secundario.

Por ejemplo, la reducción del coste de viaje a una zona turística gracias a un proyecto de transporte puede aumentar el número de visitas a dicha zona y, como consecuencia del aumento del número de visitantes, a la demanda de servicios comerciales de dicha zona. Simultáneamente, puede ocurrir lo contrario en otra zona que los visitantes consideran ahora relativamente más alejada.

Reglas de actuación práctica

La pregunta es si los efectos descritos deben contabilizarse en la evaluación de un proyecto o por el contrario deben ignorarse concentrando el esfuerzo de medición en el mercado primario. La respuesta no es inmediata y no hay unanimidad sobre cómo tratar los efectos indirectos, aunque algunas **reglas de actuación práctica de tipo general** pueden sugerirse:

1. **Cuando el servicio de transporte cuyo coste se reduce como consecuencia del proyecto es un *input* en el proceso productivo de otras empresas y la economía es en general competitiva, podemos cuantificar el beneficio del proyecto en el mercado primario de transporte afectado por el cambio, ignorando lo que ocurre en los mercados que utilizan dichos servicios.**

   Estos beneficios que aparecen reflejados en el mercado primario, lo son de las empresas y consumidores que se benefician en los mercados secundarios. Son los mismos beneficios y no deben sumarse dos veces. Ignorar los beneficios en los mercados secundarios no quiere decir que las empresas que en otros mercados utilizan los servicios de transporte no se beneficien del proyecto que reduce el coste de transporte, ni tampoco que los consumidores no se beneficien de precios más bajos; **se trata simplemente de evitar contabilizar dos veces el mismo efecto, ya que los beneficios de la reducción de dicho coste ya fueron evaluados en el mercado de transporte.**

2. **Cuando los mercados secundarios no son competitivos y existe poder de mercado, el aumento o la reducción de la demanda que ocurra en dichos mercados si produce un efecto adicional que habría que incluir.** Dicho efecto adicional que no puede considerarse doble contabilización se origina como consecuencia de la no igualdad del precio y el coste marginal en los mercados de competencia imperfecta.

   Un monopolio que vende a 100 un bien cuyo coste unitario es de 80, el bajar el precio y aumentar la cantidad vendida tras la reducción de los costes de transporte, supone un beneficio social aproximado de 20 por unidad vendida que no aparece totalmente reflejado en el mercado primario al aplicar la regla de

la mitad. La razón de este beneficio adicional estriba en que el monopolista produce cantidades inferiores a las socialmente óptimas y un proyecto de transporte que reduce sus costes incentivando el aumento de producción del monopolista reduce la ineficiencia derivada de la baja producción del monopolista.

3. **Cuando en los mercados secundarios se producen bienes y servicios que son complementarios o sustitutivos de los bienes y servicios del mercado primario, y la economía es competitiva y sin distorsiones, podemos ignorar los efectos indirectos**, ya que las variaciones de la producción, al contrario del caso del monopolista anteriormente descrito no producen variaciones en el bienestar social al venderse cada unidad a su coste marginal social.

4. **Cuando existe distorsiones en los mercados secundarios los efectos indirectos no son necesariamente doble contabilización.** Distorsiones como la existencia de poder de mercado, externalidades, impuestos y subvenciones o desempleo, implican una diferencia entre el precio de venta y el coste marginal social en los mercados secundarios afectados por el proyecto que producen efectos adicionales a los del mercado primario que deben tenerse en cuenta.

   Por ejemplo, si aumenta la demanda de productos agrícolas subvencionados en los restaurantes beneficiados por el aumento de visitas al parque cuyo coste de acceso en tiempo se ha reducido, la expansión de la producción en el mercado agrícola supondrá un coste a contabilizar igual al aumento de la subvención (suponemos que no internaliza externalidad alguna) Si por el contrario, en el mercado agrícola hay un impuesto, el aumento de recaudación será un beneficio.

5. **El efecto neto en los mercados secundarios es por tanto la suma de efectos de distinta naturaleza y signo**. Los promotores de proyectos de transporte tienden a argumentar los efectos positivos sobre el conjunto de la economía de dichos proyectos, creación de empleo incluido; sin embargo, **los efectos indirectos pueden ser positivos** (aumento de recaudación fiscal) **o negativos** (aumento de la contaminación)**, además, la producción no siempre aumenta en los mercados secundarios.** Un aeropuerto nuevo que aumenta la actividad industrial y comercial en la zona puede también reducirla en otro aeropuerto del país que pierde atractivo tras el proyecto del nuevo aeropuerto.

6. **Una recomendación general es la de ignorar en principio los efectos indirectos y concentrarse en los directos, a menos que la singularidad del proyecto aconseje lo contrario.** Muchos de los efectos indirectos son comunes a otros proyectos, que se realizarían si el proyecto evaluado no se llevase a cabo y por tanto su efecto es irrelevante en la comparación de proyectos (por ejemplo, el efecto multiplicador macroeconómico). **Otros efectos más difíciles de evaluar pero importantes en algunos casos, como cambios en la logística de la distribución comercial, etc., podrían describirse en una exposición cualitativa junto a los efectos directos.**

Finalmente, y con relación a los efectos territoriales, los de desarrollo regional y los cambios en la localización de las empresas, es recomendable añadir una descripción cualitativa en su caso, ya que la evidencia disponible no permite ser demasiado optimistas sobre los efectos positivos de desarrollo local de un proyecto de transporte que reduce el coste de desplazar bienes y personas entre una zona rica y otra pobre. La carretera o la línea ferroviaria, permiten viajes en ambos sentidos y aunque el efecto global sobre la economía del país sea positivo, el local es discutible y depende de un conjunto de factores cuyo efecto final es *a priori* muy difícil de predecir.

2.4.6. Incentivos y contratos

La obtención de un *VAN* social *ex ante* positivo en la evaluación de un proyecto de inversión en infraestructuras de transporte no garantiza que con posterioridad, durante la vida efectiva de la concesión, se obtenga un *VAN* social real positivo. Teniendo en cuenta que la **participación privada en la construcción y explotación de infraestructuras de transporte se realiza en muchos casos mediante contratos de concesión,** conviene discutir de qué manera afecta el diseño de estos contratos a que se obtengan los beneficios sociales netos estimados en la fase de evaluación económica.

El diseño de un contrato de concesión puede influir decisivamente en que el *VAN* social *ex ante* y el *ex post* no difieran más allá de lo explicado por causas de fuerza mayor o de cambios en el marco regulador frente a las que los operadores poco pueden hacer. **Nos interesan especialmente las desviaciones de lo proyectado que se producen por la utilización de contratos cuyos incentivos no favorecen la consecución del máximo *VAN* posible**, y para ello analizamos el caso de la concesión convencional de plazo fijo tan utilizada en los proyectos de transporte en todo el mundo.

Una concesión para construir y operar una infraestructura es un contrato de largo plazo entre un gobierno y una empresa o consorcio de empresas privadas, a través del cual ambas partes asumen una serie de compromisos y obligaciones para llegar a alcanzar unos determinados objetivos. Entre estos objetivos cabe destacar los siguientes:

1. Construcción de la infraestructura, con la calidad previamente establecida, al mínimo coste posible.

2. Mantenimiento adecuado de la infraestructura y otros elementos incluidos en la concesión durante el periodo concesional.

3. Provisión de servicios satisfactorios a los usuarios, incluida la seguridad.

4. Promover el uso eficiente a corto plazo de la infraestructura, mediante precios adecuados.

5. Ampliación de la infraestructura a largo plazo de acuerdo con las necesidades de tráfico.

6. Equilibrio financiero para el concesionario.

Desde un punto de vista económico, un contrato de concesión es un mecanismo que facilita la colaboración entre el sector privado y el sector público. A través de los contratos de concesión, los gobiernos pueden obtener financiación privada para la realización de grandes proyectos de infraestructura y, simultáneamente, se ofrecen a los inversores privados los incentivos económicos para que sea atractivo llevar a cabo estos proyectos.

La experiencia internacional muestra numerosos ejemplos de problemas financieros para los concesionarios y de necesidad de intervención de los gobiernos para evitar quiebras. Al estudiar estos casos, es frecuente encontrarse con un diseño incorrecto del modelo económico desde el inicio de la concesión que suele estar en la raíz de las dificultades para concesionarios y gobiernos. Por ello, es fundamental la realización de un análisis previo de las características de un proyecto de construcción de infraestructuras, así como un diseño correcto del modelo económico.

Para tratar de alcanzar los seis objetivos señalados anteriormente para una concesión (construcción al mínimo coste, mantenimiento adecuado, calidad y seguridad, uso eficiente de la infraestructura, ampliaciones adecuadas en el largo plazo, y equilibrio financiero para los concesionarios), tanto el gobierno que desea llevar a cabo un proyecto de infraestructura como la empresa que acomete el proyecto se enfrentan a varias dificultades.

El mayor problema a la hora de diseñar una concesión de un proyecto de transporte consistente en la construcción de nueva infraestructura es la incertidumbre sobre el volumen de demanda futura. Pese a que existen técnicas para realizar estudios de predicción de demanda, dada la naturaleza de largo plazo de estos proyectos, es muy difícil realizar buenas predicciones. Existen muchas circunstancias que pueden verse alteradas durante los más de 30 años que suele durar una concesión de infraestructura de transportes, que pueden alterar de forma significativa el volumen de demanda y que conducen a la renegociación del contrato.[40]

La incertidumbre también alcanza a los costes. Algunos costes son difíciles de predecir, especialmente en las fases de construcción del proyecto ya que los verdaderos costes asociados a la construcción de una determi-

[40] Véase Guasch, J.L. (2004): *Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right*. WBI Development Studies, Washington.

nada infraestructura no se conocerán hasta que ésta se lleve a cabo y aparezcan, por ejemplo, dificultades no previstas en el terreno que prolonguen la duración de las obras. Esto hace que las ofertas que presenta una empresa a un concurso incorporen un cierto elemento de aleatoriedad.

Los costes de construcción, mantenimiento y operación de una infraestructura también pueden variar dependiendo del esfuerzo realizado por el concesionario. La cercanía de dichos costes a su mínimo posible dependerá de los incentivos que el contrato incorpore para que al concesionario le compense el esfuerzo de acercarse a dicho mínimo. Si el contrato concesional contempla un beneficio constante y un precio por utilización de la infraestructura igual al coste medio de producción, es probable que el operador no se esfuerce en la misma medida en que lo haría si el precio es fijado independientemente del coste y el beneficio no está limitado.

Partiendo del hecho de que el gobierno quiere que la construcción de una infraestructura de calidad prefijada se realice al mínimo coste posible, aceptando que las empresas que llevan a cabo los proyectos son las que conocen sus costes, la mejor forma de llevar a cabo la selección del concesionario es a través de mecanismos de licitación.[41]

Los mecanismos más habituales en la práctica son subastas en los que los concursantes (generalmente consorcios formados por varias empresas) son pre-seleccionados a partir de criterios de honorabilidad, experiencia en el sector y capacidad financiera. Los candidatos deben presentar sobres cerrados con una oferta económica que se basa habitualmente en alguna de estas variables alternativas: el peaje que van a cobrar a los usuarios, o un pago a realizar al gobierno en concepto de canon. En algunas ocasiones, también es posible la utilización de sistemas en los que las empresas realizan ofertas sobre diversas variables, empleándose en la licitación una fórmula polinómica en la que cada variable se pondera con un número de puntos anunciados previamente.

Las variantes de los sistemas mencionados comparten una característica común y es la idea de *plazo fijo* para la duración de la concesión. Es decir, a pesar de que la oferta de las empresas se realice en variables diferentes en cada tipo de concurso, en todos ellos los concesionarios saben de antemano cuánto va a durar el periodo durante el cual van a poder explotar la concesión y obtener ingresos por cobrar a los usuarios por el uso de la infraestructura. La duración de la concesión será anunciada por el gobierno antes de que se lleve a cabo la subasta, con el objeto de que las empresas puedan realizar sus cálculos y hacer así las mejores ofertas posibles, ajustadas a la condición de equilibrio financiero de cada empresa.

Todos los sistemas concesionales basados en el plazo fijo para la duración del contrato de concesión tienen un problema común y éste es el impacto que tienen las estimaciones sobre la demanda futura, tanto para la selección del concesionario como para su estabilidad financiera durante la vida del contrato.

Este es un problema bien conocido en el análisis teórico de los resultados de los concursos o subastas, y que es denominado la "maldición del ganador". En un concurso realizado a partir de cualquiera de las variables citadas anteriormente existe, por el propio funcionamiento del sistema, una tendencia hacia la selección de concesionarios que son excesivamente optimistas en cuanto a sus expectativas de demanda. Esto puede crear un serio problema para la empresa ganadora en el futuro y es el siguiente: en caso de que el número efectivo de usuarios sea bajo, es probable que los cálculos realizados por la empresa ganadora resulten incorrectos, y le lleven a una situación financiera complicada.

Este problema no se deriva de que las empresas actúen de forma inadecuada a la hora de preparar sus ofertas, y los cálculos no se realicen con la máxima precisión posible. Son los propios mecanismos de selección los que inducen estos resultados, y los causantes últimos de muchas de las dificultades de las concesiones en el mundo, especialmente el de **las renegociaciones que aunque resuelven el problema de la interrupción de la actividad en caso de problemas graves, desnaturalizan en muchas ocasiones la esencia del concurso público.**

[41] Existe una amplia literatura económica sobre subastas y su aplicación en muy diversos contextos. Dos buenas referencias introductorias son Klemperer, P. (1999): "Auction Theory: A Guide to the Literature". *Journal of Economic Surveys* 13: 227-286; y Milgrom, P.R. (1989): "Auctions and Bidding: A Primer". *Journal of Economic Perspectives* 3: 3-22.

Las renegociaciones producen efectos no deseados sobre el contrato de concesión (tensiones entre gobierno y concesionario, costes asociados a la negociación, protestas de los usuarios, etc.). Además, suelen introducir ajustes en los precios que pagan los usuarios cuando se producen desviaciones significativas de tráfico con respecto a las previsiones, incentivando un uso ineficiente de la infraestructura.

Así, en situaciones de tráfico bajo, los operadores presionaran para que se aumente el precio, modificación contraria a lo que sería deseable desde un punto de vista económico para un uso eficiente de la infraestructura. Ante situaciones de demanda débil, si la respuesta del gobierno es autorizar una subida de precios, la demanda descenderá más aún, cuando lo deseable sería en esas situaciones bajar los precios para que la demanda fuese mayor.

Si por el contrario la demanda es alta y se producen problemas de congestión, lo que debería hacerse es subir los precios, para de ese modo desanimar el uso de la infraestructura por aquellos usuarios que obtienen un menor beneficio o bienestar de su utilización. Sin embargo, demanda alta suele estar asociada a beneficios extraordinarios para el concesionario y a mayor presión del público para que bajen los precios.

Concluyendo, son las propias características de los mecanismos de concesión de plazo fijo las que pueden inducir a la aparición de problemas para gobiernos y concesionarios durante la vida de los contratos de concesión. La razón fundamental es la necesidad, bajo estos sistemas concesionales, de apoyarse en las expectativas de los niveles de demanda futura a la hora de realizar los cálculos de las empresas para presentar sus ofertas a los concursos para conseguir los contratos. Los sistemas concesionales de plazo fijo tienden a seleccionar a empresas optimistas en cuanto a sus predicciones de demanda, y a generar con ello problemas de renegociación en el futuro.

La solución al problema de la incertidumbre sobre el tráfico requiere un cambio en el planteamiento del sistema de concesión, que permita reducir dicha incertidumbre. **Una alternativa para conseguirlo consiste en ir abandonando la idea de que el periodo de vigencia del contrato de concesión tenga que ser fijo y determinado *a priori*, antes de conocerse con exactitud cuál es el nivel de tráfico que la infraestructura va efectivamente a recibir.**

Un mecanismo práctico consiste en diseñar una concesión de *plazo variable*, cuya duración se vincule con el nivel de demanda, y que permita ajustes automáticos del periodo concesional sin necesidad de entrar en procesos de renegociación que, como se ha señalado, tienen consecuencias negativas para gobiernos y concesionarios.

Los problemas de la participación de empresas privadas en la construcción de carreteras mediante el sistema de concesión de plazo fijo se deben fundamentalmente a la naturaleza de la infraestructura (altos costes, vida prolongada y especificidad de los activos), a la incertidumbre de demanda y a las asimetrías de información sobre los costes. La participación privada es deseable si su entrada en la construcción y operación facilita el construir a costes más bajos que sostengan precios más bajos a los usuarios, además de contribuir a que no se construyan obras faraónicas. La experiencia internacional no es del todo positiva y la impopularidad de la participación privada ha crecido en la última década.[42]

Si el periodo de concesión fuese variable en lugar de fijo, sería posible acomodar situaciones de demanda alta o baja sin necesidad de renegociar el contrato, ni tener que realizar ajustes no deseados en los precios. Así, por ejemplo, ante una situación de demanda baja, simplemente la duración de la concesión se extendería automáticamente permitiendo de ese modo la recuperación de los costes totales. Por el contrario, ante un caso de demanda alta, la recuperación de costes tendría lugar antes, y la concesión podría terminar para no proporcionar beneficios extraordinarios a la empresa.

[42] El 56% de los encuestados en América Latina opinaban que las privatizaciones habían sido positivas para su país, cuando se les preguntó en 1998. Este porcentaje se reducía al 25% cuando se les volvió a preguntar en 2004 (Latinobarómetro surveys) citado en Fay, M. y M. Morrison (2005): *Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Recent Developments and Key Challenges*. Report No. 32640-LCR. The World Bank. Entre las sugerencias de los autores para reforzar la inversión privada en la región se incluye la mejora de la regulación y la adjudicación de contratos.

Esto puede conseguirse realizando una subasta en la que las empresas licitan el mínimo valor de ingresos netos que desean recuperar. En este tipo de concurso, las empresas no tienen necesidad de determinar el precio que desean cobrar, puesto que dicho precio sería fijado por el gobierno, ni van a requerir hacer predicciones de demanda para calcular los ingresos esperados por la concesión.[43]

2.4.7. Beneficios y beneficiarios: eficiencia y equidad

Una de los elementos más característicos de la evaluación económica de proyectos desde una perspectiva social es que no sólo los ingresos cuentan sino también el excedente de los consumidores, es decir lo que adicionalmente hubieran pagado los usuarios si se lo hubiesen cobrado; y además, **los beneficios y costes que hay que considerar son los de toda la sociedad, no sólo los de los promotores y usuarios directos del proyecto**. El ruido que han de soportar los residentes cercanos a una línea ferroviaria, carretera o aeropuerto, debe incluirse en la evaluación de igual manera que se contabilizan los beneficios que obtienen los productores y consumidores gracias al proceso productivo que produce dicha contaminación acústica.

Durante su existencia como herramienta de evaluación económica, o criterio de decisión social para los más ambiciosos, el ACB se ha desarrollado en la evaluación de proyectos de transporte como uno de sus campos de aplicación de mayor éxito, posiblemente porque en estos proyectos, los ahorros de tiempo, su principal beneficio, son más fácil de medir y están sujetos a menor controversia que los proyectos que afectan al medio-ambiente o a la salud. Además, en transporte, hay muchos proyectos similares que pueden compararse y clasificarse con menor dificultad que en otras áreas del sector público.

Idealmente los economistas valoran la oportunidad de acometer un proyecto en función de los cambios en el bienestar social que se derivan de la ejecución de dicho proyecto. Llevar esto a la práctica no es nada fácil. La medición de cambios en el bienestar social exige, además de definir algún tipo de función de bienestar que permita la agregación, medir los cambios en la utilidad individual que se experimentan como consecuencia del proyecto. Dadas las dificultades, y conscientes de que la inacción es en muchos casos más costosa que los errores derivados de un metodología menos rigurosa, **los economistas se conforman con una aproximación pragmática, consistente en una medición monetaria de los cambios subyacentes en la utilidad.**

La metodología de este *Manual* se basa en la práctica común de la evaluación de proyectos consistente en una medición monetaria de las corrientes de beneficios y costes durante la vida prefijada, y su posterior agregación, previa homogenización de dichos flujos, aplicando una tasa de descuento predeterminada, para obtener el valor actual neto.

Rara vez se ponderan los beneficios según el grupo afectado. El criterio que se aplica por tanto, es el de compensación potencial de Kaldor-Hicks que no exige una compensación efectiva y que equivale a la aplicación de la regla de decisión siguiente: **si el beneficio obtenido por los ganadores permite a estos compensar a los perdedores y todavía salir ganando, el proyecto debe acometerse. Este criterio es equivalente a decir que el valor actual neto (*VAN*) de un proyecto debe ser positivo**.[44]

En la práctica del ACB la equidad no suele tratarse como en teoría se explica, ponderando los beneficios y costes en función de quienes son los beneficiarios y perjudicados. Implícitamente, a una unidad monetaria se le concede el mismo valor con independencia de quien la gana o pierde, lo que no quiere decir que los perdedores no reciban compensación alguna (resultado extremo pero compatible con el criterio de compensación potencial de Kaldor-Hicks implícito en la regla del *VAN*>0). Cuando se construye una autopista y se abre

[43] El sistema de concesión de plazo variable ha sido empleado anteriormente en el Reino Unido, en la construcción y explotación de un puente; y posteriormente en la concesión Santiago-Valparaíso-Viña del Mar en Chile. Para un análisis de éste sistema, véase: Engel, E., Fischer, R. y Galetovic, A. (1996): "Licitación de Carreteras en Chile". *Estudios Públicos* 61; Engel, E., Fischer, R. y A. Galetovic (2001): "Least-Present-Value-of-Revenue Auctions and Highway Franchising". *Journal of Political Economy* 109: 993-1020; Nombela, G., y G. de Rus (2004): "Flexible-Term Contracts for Road Franchising", *Transportation Research A* 38, 3:163-247.

[44] Debe recordarse que la condición de que el proyecto tenga un *VAN* positivo es sólo condición necesaria, porque puede que no haya disponible financiación pública para todos los proyectos que satisfacen dicha condición y por tanto la regla de decisión será elegir a los que maximicen el *VAN* respetando la restricción presupuestaria. Además el analista no debe olvidar que un *VAN* positivo indica que siendo el proyecto "bueno", no tiene por qué ser "el mejor" cuando se trata de elegir entre varios alternativos para conseguir un mismo objectivo.

un proceso de expropiación forzosa, se indemniza a los que han de ceder suelo, aunque la compensación se realiza de acuerdo con módulos preestablecidos que no tienen por qué ser idénticos a la renta que permitiría situar a los sujetos afectados en sus niveles de utilidad sin el proyecto.

En este *Manual* se recomienda que, siempre que sea posible y útil, se desagreguen los beneficios netos por grupos y áreas geográficas relevantes, con el fin de añadir información sobre los beneficiarios y perjudicados del proyecto, dimensión que en algunos casos puede ser decisiva en la decisión final.

Capítulo 3.

Aplicando el modelo básico

3.1. Evaluación en la práctica: un ejemplo

Frente a la aproximación fundamentalmente teórica utilizada hasta ahora, **el objetivo de este capítulo consiste en aplicar el modelo de evaluación económica de proyectos descrito en el capítulo anterior con el fin de concretar y discutir en mayor detalle los aspectos prácticos más relevantes de la metodología presentada.** Para ello utilizaremos un proyecto de inversión ficticio que, si bien no se corresponde con ninguna situación real, sí propone una aproximación *realista* a un problema típico de inversión en infraestructuras de transporte.

Un ejemplo: el corredor Este-Oeste

Las ciudades *Este* y *Oeste* son dos centros urbanos de tamaño medio situados en una zona con ciertas dificultades orográficas en la que la presencia de montañas y valles dificulta las comunicaciones terrestres. En la actualidad, como muestra el mapa representado en la **Figura 3.1, ambas ciudades se encuentran unidas por una carretera de titularidad y explotación pública y cuya utilización por parte de los vehículos que la transitan es gratuita.** La distancia total que deben recorrer los usuarios de esta vía es de 120 kilómetros, lo cual hacen invirtiendo normalmente una media de 2 horas de viaje, debido a las retenciones que se originan con frecuencia.

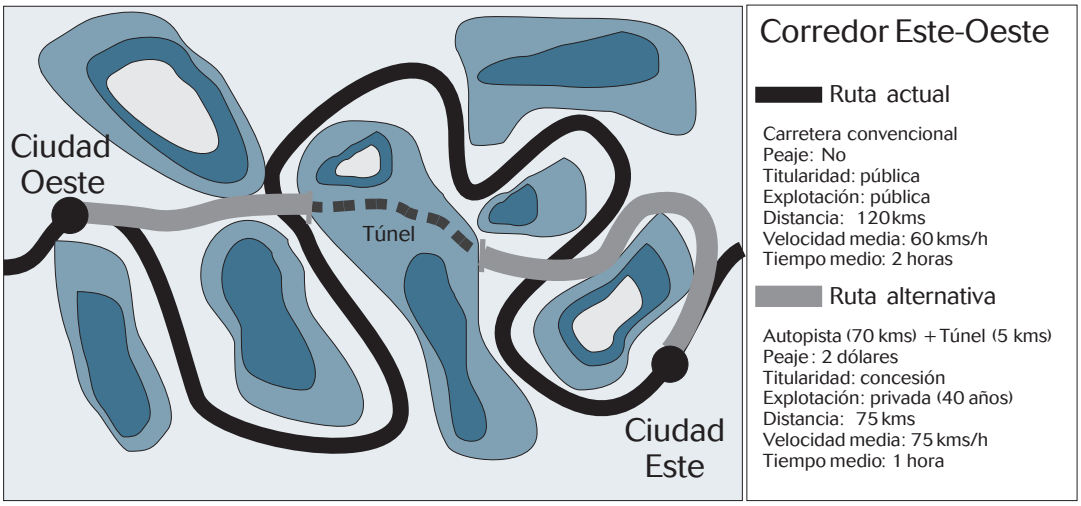
Datos técnicos del nuevo proyecto

Para superar estas dificultades y mejorar las comunicaciones en este corredor, **se ha diseñado un proyecto para construir una ruta alternativa.** Dicha ruta implicaría la construcción de una autopista y un túnel de 5 kilómetros que atravesaría directamente algunas de las montañas que separan ambas poblaciones. La longitud total de la nueva ruta sería de 75 kilómetros y podría recorrerse a una velocidad media superior, haciendo que el tiempo total de viaje se redujese a una hora.

También se ha estimado que una parte importante de los accidentes se podrían evitar con esta nueva vía. Sin embargo, el proyecto implicaría atravesar algunas zonas de alto interés ecológico sobre las que se causaría un impacto ambiental durante toda la vida del proyecto, valorado en un 30% de la inversión presupuestada para cada año. El proyecto tendría una vida útil de 40 años desde el inicio de la construcción y un valor residual igual al 20% de la inversión inicial.

De acuerdo con los estudios técnicos llevados a cabo, se ha estimado que el coste medio de construcción de cada kilómetro ascenderá a 2 millones de dólares en el caso de la autopista y 10 millones por kilómetro de túnel. A estas cantidades habría que añadir los costes de preparación de los terrenos, administración y control

Figura 3.1. Situación actual y proyecto propuesto



del proyecto, por valor de 35 millones de dólares, por lo que el importe total de la inversión presupuestada asciende a 225 millones de dólares. Los trabajos de construcción se llevarían a cabo a lo largo de dos años, invirtiéndose un 50% del coste en el momento inicial del proyecto (t=0), un 25% al final del primer año o momento uno (t=1) y un 25% a final del segundo año o momento dos (t=2). Tras la finalización de las obras, la autopista y el túnel se abrirían al tráfico al comienzo del tercer año, contabilizándose los beneficios a final de dicho año (t=3).[45] Aunque la antigua carretera seguiría abierta, su utilización sería muy marginal, ya que se ha estimado que casi todos los usuarios actuales se desviarían hacia la nueva ruta.

Ante las dificultades financieras para acometer este proyecto, **se está considerando la posibilidad de que la construcción y explotación de la nueva ruta se realice en régimen de concesión,** por un período igual a la vida del proyecto. La empresa privada concesionaria se financiaría a través del cobro de un peaje a cada vehículo por trayecto.[46]

Simplificaciones adicionales

Finalmente, haremos dos simplificaciones adicionales que son importantes en relación con este ejemplo:

1. En primer lugar, supondremos que **la nueva ruta planeada no se enfrenta en ningún momento a restricciones de capacidad**, al menos durante los años que dura la concesión. Tanto la autopista como el túnel podrán absorber, con un nivel de congestión mínimo, el volumen de tráfico diario que circulará por el corredor. Esto evita la necesidad de considerar políticas de precios más complejas, como las tasas por congestión, u otros mecanismos de racionamiento de la capacidad que afectarían al tiempo medio de viaje.

2. En segundo lugar, consideraremos que **los precios y costes de los factores empleados en el proyecto reflejan de manera adecuada su coste de oportunidad**. Esto es extensible a los fondos públicos destinados a la inversión, a los que consideraremos que no hay que aplicar ningún factor de corrección para reflejar su coste de oportunidad.

Con los datos anteriores procederemos a continuación a aplicar el modelo básico descrito en el capítulo anterior, particularmente la aproximación basada en el cambio de los excedentes de los usuarios y productores. Posteriormente, tras discutir los resultados y analizar detalladamente el papel de la incertidumbre y los incentivos, reharemos los cálculos usando la aproximación de las disposiciones a pagar y discutiendo las posibles diferencias asociadas a utilizar valores reales frente a monetarios.

3.2. Evaluación económica del proyecto

De acuerdo con la información disponible sobre el proyecto y su posible forma de financiación, y sabiendo que la tasa de descuento a utilizar es el 5%, las dos preguntas que se formulan en el momento inicial y a las que debe responder la evaluación económica son inmediatas y se corresponden con las planteadas en el capítulo anterior, es decir, bajo las condiciones técnicas y económicas planteadas y con el sistema de financiación propuesto,

1. ¿debería construirse la nueva vía?

2. ¿estará alguna empresa privada interesada en llevarlo a cabo?

[45] Para simplificar, supondremos que, excepto en el caso del 50% del coste de la inversión que se produce en el momento cero, todos los demás costes y beneficios se computan como si se produjesen a final de cada año. La nueva ruta se abre al tráfico al final del año 2 (comienzo del tercer año del proyecto) y los beneficios de dicho año, que se han ido produciendo desde el uno de enero hasta el 31 de diciembre, se contabilizan en el momento t=3 (como si todos ocurrieran a 31 de diciembre).

[46] En este ejemplo no distinguiremos distintos tipos de vehículos (motocicletas, turismos, camiones ligeros, camiones pesados, autobuses, etc.), ni distintos tipos de viajeros (viajeros por motivo de trabajo, por motivos de ocio, etc.). Por ello supondremos que tanto el valor del peaje como del resto de variables relevantes (tiempos y costes de viaje) es en realidad un valor promedio para todos ellos.

El VAN como repuesta

La respuesta a estas cuestiones requiere calcular el *VAN* social y el *VAN* financiero de este proyecto. Para ello **comenzaremos utilizando la aproximación metodológica basada en la suma de los cambios de los excedentes de los diferentes agentes sociales afectados por este proyecto**, por lo que la expresión a evaluar, de acuerdo con el capítulo anterior, viene dada por:

$$VAN_s = -\sum_{t=0}^{2} \frac{(I_t + E_t)}{(1+i)^t} + \sum_{t=3}^{40} \frac{\Delta EC_t + \Delta EP_t + \psi^1 q_t^1 - \psi^0 q_t^0 - \varepsilon^1 q_t^1 + \varepsilon^0 q_t^0}{(1+i)^t} \tag{3.1}$$

donde el primer sumando (con signo negativo) representa el valor actualizado de los costes de construcción (I_t) durante los tres primeros años, a los cuales se añade el coste del impacto medioambiental (E_t).

Además también consideramos, para simplificar, que tanto los tipos impositivos (ψ) como el coste externo unitario (ε) no varían a lo largo del tiempo, por lo que suprimimos en ellos el subíndice *t*. Manteniendo la notación del capítulo anterior, el superíndice 0 se refiere al escenario *sin proyecto* y el superíndice 1 indica el escenario *con proyecto*.

Para computar el *VAN* financiero, únicamente tendremos en cuenta los ingresos netos y costes de la infraestructura, no contabilizando ni la variación en el excedente de los usuarios, ni de los contribuyentes, ni las externalidades, por lo que la expresión a evaluar será:

$$VAN_f = -\sum_{t=0}^{2} \frac{I_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=3}^{40} \frac{p_t^1 q_t^1 - p_t^0 q_t^0 + C_t^0 - C_t^1}{(1+i)^t} \tag{3.2}$$

donde C^0 y C^1 denotan los costes de mantenimiento y operación de la infraestructura *sin* y *con* el proyecto respectivamente.

3.2.1. Cómputo de beneficios y costes sociales y privados

El cálculo de las expresiones (3.1) y (3.2) requiere identificar todos los *efectos directos del proyecto* sobre los usuarios, la empresa concesionaria, los contribuyentes y los afectados por las externalidades derivadas de la construcción y explotación del proyecto.[47]

Lógicamente, un individuo puede pertenecer a más de un grupo. Por ejemplo, un usuario puede estar afectado por la externalidad, ser contribuyente y tener acciones de la empresa concesionaria. Las transferencias de renta se anulan al sumar los excedentes. **Debe evitarse tanto el error de doble contabilización como el de ignorar alguna partida de costes o beneficios.**

Los usuarios

Para los viajeros que utilizan este corredor, la construcción de la nueva ruta supone una modificación en su *precio generalizado* (*g*) en el que incurren en cada viaje (véase **Sección 2.2**). En la carretera existente no existe peaje ($p^0 = 0$), por lo que los precios generalizados serían:

$$\begin{aligned} g^0 &= z^0 + v\tau^0 \\ g^1 &= z^1 + (p^1 + \psi) + v\tau^1 \end{aligned} \tag{3.3}$$

[47] Como puede observarse, estamos ignorando los *efectos indirectos* del proyecto (revalorización del suelo, generación de empleo, atracción de nuevas empresas, movimientos poblacionales, etc.). Muchos de estos efectos ya son contabilizados en los beneficios por ahorro de tiempo, ahorro en los costes operativos, y en la disposición a pagar por los viajes de nueva generación. Otros efectos, como la recaudación impositiva o las externalidades, en mercados secundarios, se añaden a los beneficios y costes sociales del proyecto. Su efecto conjunto podría ser negativo o positivo. Supondremos que su saldo neto en este ejemplo es igual a cero.

donde z representa el coste medio (por viaje) de utilización del vehículo, τ es el tiempo total de viaje, v es la valoración monetaria de dicho tiempo por parte de los usuarios y donde $P = p^1 + \psi$ es el peaje pagado por los usuarios (incluyendo impuestos) en la nueva ruta.

Habitualmente, el coste operativo varía con el tipo de vehículo y la intensidad de uso, lo cual dificulta obtener un valor representativo. Por ello, en este ejemplo suponiendo un coste medio de mantenimiento de 0,005 dólares por kilómetro, multiplicado por la distancia a recorrer en la ruta antigua y la ruta nueva y añadiendo 6 y 4 dólares de combustible respectivamente, se obtienen unos valores respectivos iguales a $z^0 = 6{,}6$ y $z^1 = 4{,}375$ dólares por vehículo y trayecto.

Para que los usuarios de la ruta actual encuentren atractivo dejar de viajar por ella y utilizar la ruta alternativa debe cumplirse que $g^1 < g^0$. Cuando esto ocurre, el cambio en el excedente de los consumidores vendrá dado por la "regla de la mitad":

$$\Delta EC = \frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^0 + q^1) \tag{3.4}$$

donde q^1 y q^0 representan los correspondientes niveles de tráfico *con* y *sin* proyecto.

Los "productores"

El excedente de los productores incluye los ingresos y costes de operación y mantenimiento de la infraestructura y los ingresos y costes de operación y mantenimiento de los automóviles que circulan por ella, ya que el concepto "productor" (en sentido amplio) engloba toda la actividad productiva para proveer el servicio que el proyecto ofrece.

Aunque pueda parecer extraño asociar los conceptos de ingresos y costes a un automóvil, esto se debe a que en el transporte privado los vehículos prestan sus servicios de transporte a sus propietarios directamente, los cuales son también los usuarios de la infraestructura. En el transporte público los vehículos pertenecen a una empresa que presta los servicios de transporte sobre una infraestructura, asociando a dichos servicios ingresos y costes de una manera más natural.

En nuestro ejemplo, la forma más general de definir el excedente del productor consiste en considerar ficticiamente ambos tipos de productores como "integrados" en una sola empresa, la cual explota dos actividades: vehículos (como una empresa de alquiler de automóviles) e infraestructura. De esta manera, en la situación sin proyecto, dicho excedente vendría dado por:

$$EP^0 = p^0 q^0 - C^0 - z^0 q^0$$

donde p^0 representa el precio unitario que la empresa cobra por sus actividades, C^0 son los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura actual y z^0 es el coste de operación y mantenimiento de cada vehículo. Puesto que la ruta actual es de utilización gratuita, tenemos que $p^0 = z^0$, es decir, que los únicos ingresos de esta "empresa" procederían de los servicios de transporte proporcionados por los vehículos.

Por el contrario, una vez construida y puesta en explotación la nueva infraestructura, el excedente del productor vendría dado por:

$$EP^1 = (p^1 q^1 + z^1 q^1) - (C^1 + z^1 q^1)$$

donde el primer sumando (entre paréntesis) representa los ingresos de ambas actividades de la empresa, mientras que en el segundo sumando aparecen restando los costes de dichas actividades.

A partir de las expresiones anteriores es inmediato obtener la variación del excedente de los productores como:

$$\Delta EP = EP^1 - EP^0 = p^1 q^1 + (C^0 - C^1) \tag{3.5}$$

en donde puede observarse que los ingresos y costes de la explotación y mantenimiento de los vehículos se cancelan mutuamente.

Con respecto a los ingresos asociados a la explotación de la nueva vía, estos vienen dados por p^1q^1, donde consideraremos que p^1 se fija inicialmente en la cantidad de 3,75 dólares por trayecto (aunque se actualizará cada año en función de la tasa de inflación prevista). Sobre esta cuantía se aplicará un recargo fiscal de ψ=0,15 dólares, que la empresa recauda y transfiere al gobierno.

Finalmente, los costes de explotación y mantenimiento de la infraestructura los dividiremos en dos partidas principales:

1. **Costes fijos** (F), que incluye todos los costes anuales asociados a la gestión y explotación de la infraestructura que no dependan directamente del volumen de tráfico (mantenimiento y reparaciones periódicas, personal de vigilancia, vehículos de apoyo, etc.,...). En este ejemplo consideraremos que el coste fijo por kilómetro es de 10.000 dólares en el caso de la ruta actual, y de 25.000 dólares en la nueva ruta.

   Adicionalmente, supondremos que algunas labores de mantenimiento se realizan con una periodicidad plurianual (por ejemplo, una repavimentación parcial cada cinco años) con un coste de 20.000 y 50.000 dólares por kilómetro en la antigua carretera y en la nueva vía, respectivamente. Adicionalmente, al permanecer abierta la carretera antigua será necesario seguir manteniéndola durante la vida del proyecto, aunque su escaso uso permite considerar que se produce un ahorro en sus costes de mantenimiento (equivalente, por ejemplo, a un 75% del importe original).

2. **Costes variables**, asociados directamente al volumen de tráfico, como por ejemplo el mantenimiento que dependa del deterioro producido por los vehículos sobre la vía, o los costes asociados a las casetas de cobro de peaje, cuando el número de estas varíe en función de la intensidad de tráfico. En el caso de la ruta actual el importe de estos costes variables podemos considerarlo igual a cero, mientras que para la nueva vía supondremos a un importe unitario igual a k^1=0,05 dólares por vehículo.

Teniendo en cuenta lo anterior, los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura para los escenarios *sin* y *con* proyecto pueden expresarse como:

$$\begin{aligned} C^0 &= F^0 \\ C^1 &= F^1 + 0,25F^0 + k^1q^1 \end{aligned} \qquad (3.6)$$

donde F incluye los costes fijos anuales y plurianuales.

Finalmente, a partir de (3.5), el cambio en el excedente de los productores viene dado por la diferencia:

$$\Delta EP = p^1q^1 - F^1 - k^1q^1 + 0,75F^0 \qquad (3.7)$$

Contribuyentes y efectos externos

En el cómputo del *VAN* social debe añadirse, junto a la variación de excedentes de consumidores y productores, el cambio que se produce en la recaudación fiscal en el impuesto sobre el peaje como consecuencia de la realización de la nueva autopista y el túnel. Como en la situación *sin* proyecto la carretera es de libre acceso, el excedente de los contribuyentes *con* proyecto es igual a ψq^1.

Finalmente, **para computar los costes sociales debemos añadir también el valor monetario de las externalidades asociadas al proyecto.** Las externalidades negativas deben añadirse a los costes, mientras que las externalidades positivas se sustraen de estos. En particular consideraremos que existen dos tipos de externalidades negativas:

1. **el impacto medioambiental** durante toda la vida del proyecto (E), para cuyo cómputo añadiremos un 30% adicional a los costes de construcción presupuestados cada año, y

2. los costes externos asociados a **la congestión y los accidentes**, que expresaremos en términos de dólares por vehículo como $\varepsilon^0 = 0{,}05$ y $\varepsilon^1 = 0{,}025$ para las situaciones *con* y *sin* proyecto, respectivamente, reflejando así una reducción del 50% en los mismos.[48]

¿Magnitudes reales o monetarias?

Las expresiones (3.1) y (3.2) reflejan flujos de beneficios y costes expresados en términos reales, con lo que la tasa social de descuento (i= 5%) también se expresa en términos reales. Indistintamente, los beneficios y costes anuales pueden expresarse en unidades monetarias corrientes, en términos nominales, incrementando los valores iniciales de acuerdo con la inflación (cuya tasa media anual se supone del 4%); en este caso, el cálculo del *VAN* ha de hacerse utilizando el tipo de interés nominal (i_n). Como veremos más adelante, **el resultado final no cambia.**

3.2.2. El papel de la incertidumbre

Como ya se ha indicado en el capítulo anterior, la existencia de incertidumbre es inevitable en cualquier proyecto de inversión. Esta incertidumbre puede proceder de diversas fuentes, algunas de las cuales son independientes y otras están estrechamente correlacionadas entre sí. En cualquiera de los casos, su inclusión en el análisis requiere identificar las distribuciones de probabilidad que siguen cada una de las variables relevantes, así como las relaciones existentes entre éstas.

En este ejemplo consideraremos únicamente **tres fuentes posibles de incertidumbre**, no correlacionadas entre sí:

1. La primera se refiere a la **demanda futura**; consideraremos inicialmente que la intensidad media diaria de tráfico en este corredor es de 6.000 vehículos y que este volumen de tráfico crecerá anualmente durante la vida de la concesión a una tasa anual que se distribuye uniformemente entre el 2% y el 4%.

   Como se ha indicado, tras la apertura de la nueva ruta al final del segundo año, la práctica totalidad de los vehículos abandonarían la ruta actual, convirtiéndose por tanto en *tráfico desviado* hacia la nueva ruta. Pero además, la reducción en el coste de viaje genera nuevo tráfico: consideraremos que este *tráfico generado* inicialmente es igual a un 30% del tráfico existente, creciendo a partir de ese momento a la misma tasa anual.

   Con estos datos, la evolución esperada del tráfico anual de vehículos en el corredor Este-Oeste durante el período de la concesión sería la reflejada en la **Figura 3.2**. Como puede observarse en la línea correspondiente al tráfico desviado, si el proyecto no se realizase, la demanda crecería hasta alcanzar los 7 millones de vehículos anuales en el año 40.

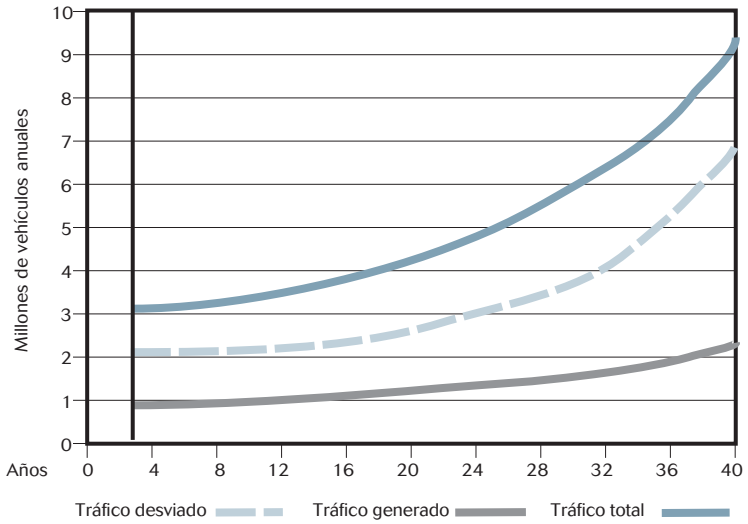
   Sin embargo, el nuevo proyecto absorbe la totalidad de este tráfico y genera viajeros adicionales (*tráfico generado*) haciendo que el volumen final de demanda al finalizar el año 40 supere los 9 millones de vehículos al año.

2. Una segunda fuente de incertidumbre importante en este tipo de proyectos se refiere a los **costes de construcción**. No es infrecuente que, a lo largo del período de construcción se presenten circunstancias imprevistas que produzcan una desviación al alza de los costes presupuestados. Para tener en cuenta esta posibilidad, definiremos en este ejemplo a δ como una variable aleatoria que refleja el porcentaje de desviación de los costes de inversión, cuya distribución de probabilidad es triangular, entre 0% (valor más probable) y 30% (valor máximo). De manera que el importe real de la inversión en t=0, t=1 y t=2 vendrá dado por la expresión $I_t(1+\delta)$, cuyo valor exacto es desconocido *ex ante*.

3. Finalmente, una tercera fuente de incertidumbre en este proyecto vendrá dada por la dificultad de conocer con exactitud una variable crucial en la evaluación de los beneficios de la inversión: el **valor del tiempo de**

[48] Al igual que el resto de valores numéricos propuestos en este capítulo, se trata de aproximaciones muy simplificadas a la realidad, aunque compatible con la mayoría de los valores numéricos reales que se discutirán con mayor detalle en el capítulo siguiente.

Figura 3.2. Evolución del tráfico esperado con proyecto



viaje (v). Conocer el valor exacto de esta variable resulta complejo debido a la enorme variabilidad de las preferencias y características de los viajeros. Por ello, hemos optado por considerarla como una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad uniforme entre 3 y 5 dólares por hora y vehículo.[49]

Sin embargo, a diferencia de las otras dos variables aleatorias del modelo, para las cuales realizaremos sucesivas extracciones cada año de acuerdo con sus respectivas distribuciones de probabilidad, en el caso de v únicamente realizaremos una única extracción para todos los años de duración del proyecto, manteniendo el valor obtenido constante dentro de cada simulación.

Resumen de las principales variables y parámetros

En el **Cuadro 3.1** se resumen, a modo de referencia rápida, los valores numéricos asignados a las principales variables de este ejemplo en función de la información presentada anteriormente y de estimaciones formuladas a partir de datos disponibles sobre proyectos de inversión similares.

Cuadro 3.1. Valores numéricos propuestos para el proyecto

Variable	Definición	Valor asignado	Unidad de medida
$I_0 + I_1 + I_2$	Coste total de construcción del nuevo proyecto (sin actualizar)	225	Millones $
I_0	Inversión presupuestada en t=0 (50%)	112,50	Millones $
I_1	Inversión presupuestada en t=1 (25%)	56,25	Millones $
I_2	Inversión presupuestada en t=2 (25%)	56,25	Millones $
δ	Desviación sobre costes de construcción presupuestados	Variable aleatoria con distr. triangular entre 0-30 (con valor más probable: 0)	% sobre la inversión
T	Duración total del proyecto (construcción + explotación)	40	años

[49] Aunque la evidencia disponible sobre cómo cambia el valor del tiempo con el paso del tiempo sugiere que éste crece a medida que lo hace la renta *per cápita* (manteniendo con ésta una elasticidad unitaria), hemos considerado para simplificar que v (en términos reales) se mantiene constante durante la vida del proyecto.

Variable	Definición	Valor asignado	Unidad de medida
VR	Valor residual de la infraestructura	20	% sobre la inversión
i	Tasa de descuento real	5	%
m	Tasa de inflación anual (promedio)	4	%
L^0	Longitud total de la ruta actual	120	Kms
L^1	Longitud total de la ruta alternativa	75	Kms
τ^0	Tiempo de viaje en la ruta actual	2	Horas
τ^1	Tiempo de viaje en la ruta alternativa	1	Hora
v	Valor del tiempo (por vehículo)	Variable aleatoria con distr. uniforme entre 3 y 5	$ / hora
p^1	Peaje (neto) en la ruta alternativa (por trayecto)	3,75	$
z^0	Coste operativo medio de un vehículo en la ruta actual	6,6	$ /trayecto
z^1	Coste operativo medio de un vehículo en la ruta alternativa	4,375	$ /trayecto
ψ	Impuesto sobre el peaje	0,15	$
IMD	Intensidad media diaria en la ruta actual (en t=0)	6.000	vehículos
θ	Tasa de crecimiento anual del tráfico en el corredor	Variable aleatoria con distribución uniforme entre 2-4	%
–	Tráfico desviado hacia la ruta alternativa (a partir de t=3)	100	% respecto a IMD
–	Tráfico generado por la ruta alternativa (a partir de t=3)	30	% respecto a IMD
F_A^0	Coste fijo anual (ruta actual)	10.000	$/km
F_A^1	Coste fijo anual (ruta alternativa)	25.000	$/km
F_P^0	Coste fijo periódico (ruta actual) (cada 5 años)	20.000	$/km
F_P^1	Coste fijo periódico (ruta alternativa) (cada 5 años)	50.000	$/km
k^0	Coste variable de explotación (ruta actual)	0	$/vehículo
k^1	Coste variable de explotación (ruta alternativa)	0,05	$/vehículo
E	Coste del impacto medioambiental durante todo el proyecto	30	% sobre la inversión
ε^0	Coste de externalidades negativas (ruta actual)	0,05	$/vehículo
ε^1	Coste de externalidades negativas (ruta alternativa)	0,025	$/vehículo

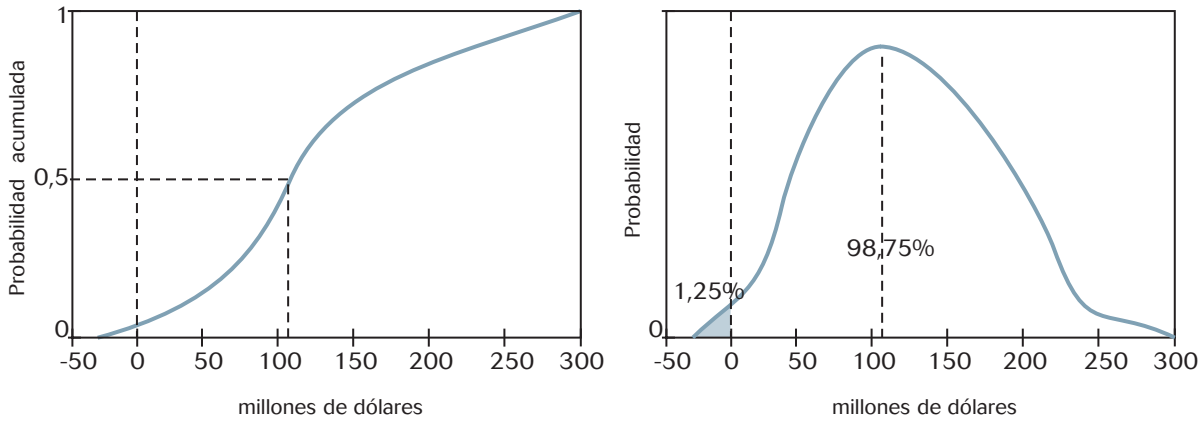
3.2.3. Cálculo y discusión del VAN social y el VAN financiero

A partir de la información contenida en el cuadro anterior y las expresiones y procedimientos del **Capítulo 2** de este *Manual*, hemos procedido a computar el *VAN* social y financiero de este proyecto teniendo en cuenta las fuentes de incertidumbre a las que está sometido.

Tras modelizar formalmente las relaciones entre beneficios y costes en una hoja de cálculo se han realizado 10.000 extracciones (o simulaciones) consecutivas de las tres variables aleatorias de nuestro modelo (desviación de costes, valor del tiempo y tasa de crecimiento del tráfico) y calculado, para cada extracción, los correspondientes VAN_s y VAN_f. Esto permite obtener las distribuciones de probabilidad del *VAN* social y del *VAN* financiero, a partir de las cuales, y utilizando los criterios de decisión del capítulo anterior, podemos evaluar la conveniencia de realizar o no este proyecto bajo las condiciones de incertidumbre en las que está planteado.

En las páginas siguientes se presentan de manera detallada los resultados obtenidos en la evaluación económica de este proyecto.[50] En el **Cuadro 3.2** se desglosa la evolución de los principales componentes de los beneficios sociales[51] a lo largo de la vida del proyecto, mientras que en el **Cuadro 3.3** se presenta de forma resumida y a partir de las expresiones (3.1) y (3.2), el *VAN* social y el *VAN* financiero evaluado para los valores esperados de las variables aleatorias y desde t=0 hasta cada uno de los años del proyecto. **El valor de la**

Figura 3.3. Distribución de probabilidad del VAN social



última fila, en t=40, corresponde a la rentabilidad social y financiera obtenida en las condiciones descritas.

Discusión

Como puede observarse en la última fila del cuadro anterior, los valores obtenidos en t=40 para el *VAN* social y el *VAN* financiero a partir de los valores esperados de las variables aleatorias son positivos, indicando en principio que el proyecto debe ser llevado a cabo y que la participación privada de agentes neutrales al riesgo estaría asegurada. Sin embargo, utilizando las distribuciones de probabilidad de la rentabilidad social y de la financiera podemos mejorar nuestro nivel de información para la toma de decisiones.

En el caso del *VAN* social, sus funciones de probabilidad representadas en la **Figura 3.3** muestran que el proyecto no sólo tiene rentabilidad social esperada positiva sino que su riesgo es prácticamente nulo, ya que la probabilidad de obtener resultados negativos es aproximadamente del 1,25%. Con un *VAN* social de 115 millones de dólares este proyecto debería realizarse en principio si la decisión es la de aceptar-rechazar frente al caso base consistente en mantener la antigua carretera.

[50] Los resultados presentados corresponden a los valores esperados de las variables aleatorias del modelo, ya que en realidad se han calculado 10.000 *VAN* diferentes.

[51] Por ahora se ha optado por utilizar valores monetarios constantes, ignorando la inflación y usando como tasa de descuento el tipo de interés real. Posteriormente, y a modo de comprobación de resultados, se cambia este supuesto.

Cuadro 3.2. Componentes de los beneficios sociales mediante la aproximación del cambio en los excedentes

t	Inversión prevista (*)	Impacto ambiental	Variación excedente consumidor	Variación excedente productor	Variación excedente contribuyentes	Variación costes externos	Beneficios sociales	Beneficio comercial (*)
0	–123.750.000	–33.750.000					**–157.500.000**	**–123.750.000**
1	–61.875.000	–16.875.000					**–78.750.000**	**–61.875.000**
2	–61.875.000	–16.875.000					**–78.750.000**	**–61.875.000**
3			6.398.477	10.535.677	466.649	41.879	**17.442.681**	**10.535.677**
4			6.590.431	10.880.997	480.649	43.135	**17.995.212**	**10.880.997**
5			6.788.144	11.236.677	495.068	44.429	**18.564.318**	**11.236.677**
6			6.991.788	11.603.027	509.920	45.762	**19.150.498**	**11.603.027**
7			7.201.542	10.030.368	525.218	47.135	**17.804.263**	**10.030.368**
8			7.417.588	12.369.029	540.974	48.549	**20.376.141**	**12.369.029**
9			7.640.116	12.769.350	557.203	50.005	**21.016.675**	**12.769.350**
10			7.869.319	13.181.681	573.919	51.506	**21.676.425**	**13.181.681**
11			8.105.399	13.606.381	591.137	53.051	**22.355.968**	**13.606.381**
12			8.348.561	12.093.823	608.871	54.642	**21.105.897**	**12.093.823**
13			8.599.018	14.494.387	627.137	56.282	**23.776.824**	**14.494.387**
14			8.856.988	14.958.469	645.951	57.970	**24.519.378**	**14.958.469**
15			9.122.698	15.436.473	665.330	59.709	**25.284.210**	**15.436.473**
16			9.396.379	15.928.817	685.290	61.500	**26.071.986**	**15.928.817**
17			9.678.270	14.485.932	705.849	63.345	**24.933.396**	**14.485.932**
18			9.968.618	16.958.260	727.024	65.246	**27.719.147**	**16.958.260**
19			10.267.677	17.496.257	748.835	67.203	**28.579.972**	**17.496.257**
20			10.575.707	18.050.395	771.300	69.219	**29.466.621**	**18.050.395**
21			10.892.978	18.621.157	794.439	71.296	**30.379.870**	**18.621.157**
22			11.219.767	17.259.042	818.272	73.435	**29.370.516**	**17.259.042**
23			11.556.360	19.814.563	842.820	75.638	**32.289.381**	**19.814.563**

t	Inversión prevista (*)	Impacto ambiental	Variación excedente consumidor	Variación excedente productor	Variación excedente contribuyentes	Variación costes externos	Beneficios sociales	Beneficio comercial (*)
24			11.903.051	20.438.250	868.105	77.907	**33.287.313**	**20.438.250**
25			12.260.143	21.080.647	894.148	80.244	**34.315.182**	**21.080.647**
26			12.627.947	21.742.317	920.972	82.651	**35.373.888**	**21.742.317**
27			13.006.786	20.473.836	948.601	85.131	**34.514.354**	**20.473.836**
28			13.396.989	23.125.801	977.060	87.685	**37.587.535**	**23.125.801**
29			13.798.899	23.848.825	1.006.371	90.315	**38.744.411**	**23.848.825**
30			14.212.866	24.593.540	1.036.562	93.025	**39.935.993**	**24.593.540**
31			14.639.252	25.360.596	1.067.659	95.816	**41.163.323**	**25.360.596**
32			15.078.429	24.200.664	1.099.689	98.690	**40.477.473**	**24.200.664**
33			15.530.782	26.964.434	1.132.680	101.651	**43.729.547**	**26.964.434**
34			15.996.706	27.802.617	1.166.660	104.700	**45.070.683**	**27.802.617**
35			16.476.607	28.665.946	1.201.660	107.841	**46.452.054**	**28.665.946**
36			16.970.905	29.555.174	1.237.710	111.077	**47.874.865**	**29.555.174**
37			17.480.032	28.521.079	1.274.841	114.409	**47.390.361**	**28.521.079**
38			18.004.433	31.414.462	1.313.086	117.841	**50.849.822**	**31.414.462**
39			18.544.566	32.386.146	1.352.479	121.376	**52.404.567**	**32.386.146**
40	45.000.000		19.100.903	33.386.980	1.393.053	125.018	**99.005.954**	**33.386.980**

El cuadro presenta los valores correspondientes a cada año (sin actualizar) en términos reales.

(*) La columna "Inversión prevista" incorpora la desviación esperada en los costes de construcción (+10%). Los beneficios sociales son la suma de las seis columnas anteriores, mientras que el beneficio comercial sólo incluye la inversión prevista y el excedente de los productores.

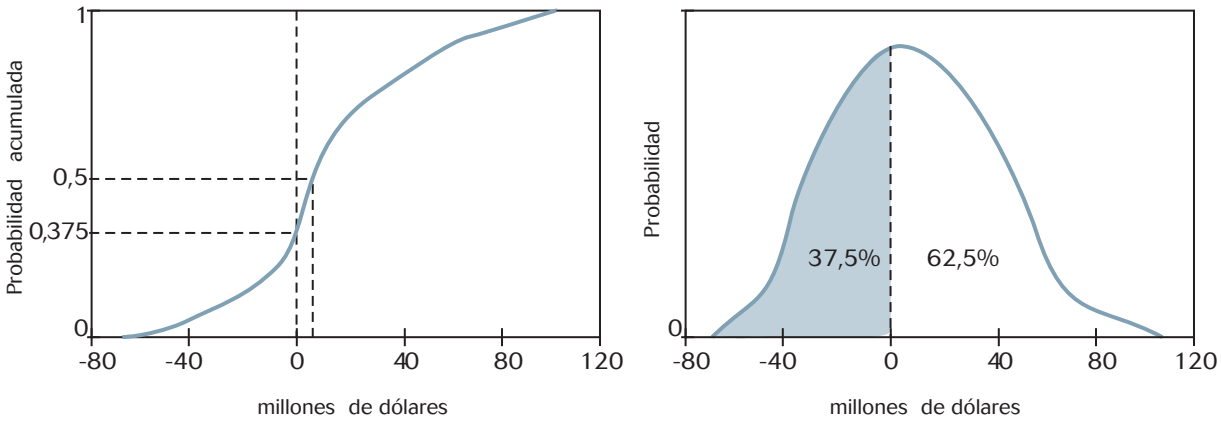
Cuadro 3.3. VAN social y financiero del proyecto

t	*VAN* social esperado	*VAN* financiero esperado
0	-157.500.000	-123.750.000
1	-232.500.000	-182.678.571
2	-303.928.571	-238.801.020
3	-288.860.927	-229.699.907
4	-274.056.222	-220.748.083
5	-259.510.593	-211.943.853
6	-245.220.197	-203.285.495
7	-232.567.040	-196.157.099
8	-218.775.666	-187.785.253
9	-205.228.130	-179.554.016
10	-191.920.685	-171.461.608
11	-178.849.614	-163.506.239
12	-167.097.061	-156.771.946
13	-154.487.704	-149.085.263
14	-142.103.751	-141.530.219
15	-129.941.614	-134.105.012
16	-117.997.737	-126.807.837
17	-107.119.379	-120.487.673
18	-95.601.501	-113.441.166
19	-84.291.435	-106.517.303
20	-73.185.776	-99.714.299
21	-62.281.154	-93.030.377
22	-52.240.847	-87.130.375
23	-41.728.350	-80.679.322
24	-31.407.023	-74.342.077
25	-21.273.655	-68.116.903
26	-11.325.076	-62.002.078
27	-2.080.465	-56.518.196
28	7.507.876	-50.618.951
29	16.920.688	-44.824.966
30	26.160.976	-39.134.576
31	35.231.705	-33.546.128
32	43.726.557	-28.467.228
33	52.466.892	-23.077.778
34	61.046.313	-17.785.416
35	69.467.619	-12.588.558
36	77.733.570	-7.485.639

t	*VAN* social esperado	*VAN* financiero esperado
37	85.526.234	-2.795.757
38	93.489.589	2.123.916
39	101.305.623	6.954.244
40	115.368.992	11.696.721

Nota: estos datos corresponden a los *VAN* calculados con los valores esperados de las variables aleatorias.

Figura 3.4. Distribución de probabilidad del VAN financiero



El *VAN* financiero esperado de este proyecto es también positivo. Con los valores esperados de las variables aleatorias este proyecto permite la participación privada, ya que los inversores recuperarían la inversión inicial, la remuneración del capital al tipo de interés de mercado y además unos beneficios de 12 millones de dólares, sin embargo, la **Figura 3.4** muestra que éste es un proyecto arriesgado.

3.2.4. La distribución de riesgos y el papel de los incentivos

Aunque, como acabamos de ver, el valor esperado del VAN financiero es positivo, la probabilidad de obtener un valor negativo asciende al 37,5% con lo que la aversión al riesgo de los inversores privados podría hacer que no se presentasen al proceso de licitación para la adjudicación de la concesión, a menos que se introdujeran **mecanismos de garantía o de compensación** a los inversores que les garantizasen el equilibrio financiero.

El problema que surge con los mecanismos de compensación y garantía es que no son neutrales con respecto a los incentivos, con lo que de nuevo surge la necesidad de analizar, en el proceso de evaluación económica de un proyecto, el tipo de contratos e incentivos que van a utilizarse durante la vida del mismo.

Antes de discutir qué tipo de garantías e incentivos podrían introducirse en el proyecto, resulta útil conocer la influencia de cada una de las variables del modelo sobre los valores obtenidos del *VAN* social y *VAN* financiero con el fin de identificar las variables cuya modificación afecta significativamente el resultado financiero sin descuidar sus efectos sobre la rentabilidad social.

Para ello, en el **Cuadro 3.4** hemos calculado los valores críticos que hacen el *VAN* financiero igual a cero.

Cuadro 3.4. Valores críticos en el cálculo del *VAN* financiero

Variable	Valor inicial	Valor que haría cero el VAN financiero	% cambio respecto al valor inicial
Inversión total (sin actualizar)	225.000.000	236.020.732	4,8%
Tasa de descuento real (%)	5	5,271	5,4%
Intensidad media diaria (vehículos)	6000	5740	-4,3%
Coste fijo anual (ruta alternativa) ($)	25.000	35.194	40%
Coste fijo periódico (ruta alternativa) ($)	50.000	108.023	116%
Coste variable de explotación ($)	0,05	0,21	320%

Como puede observarse, la rentabilidad financiera es muy sensible al coste de la inversión, al tipo de interés y al nivel de demanda inicial. Estos resultados interpretados conjuntamente con los del **Cuadro 3.5** permiten obtener algunas conclusiones prácticas con respecto al reparto del riesgo en este proyecto.

El impacto de la incertidumbre

El **Cuadro 3.5** muestra la sensibilidad del *VAN* social y financiero ante cambios en las tres variables aleatorias. Los valores (absolutos y relativos) del *VAN* se obtienen para el valor medio, mínimo y máximo de dichas variables.

Puede apreciarse como el valor esperado del *VAN* social sigue siendo positivo cuando cada variable aleatoria por separado se fija en su nivel mínimo: sin embargo conviene resaltar como la evolución prevista de la demanda y el valor del tiempo afectan a la rentabilidad social. Con respecto al *VAN* financiero, se observa que

Cuadro 3.5. Efectos de las variables aleatorias sobre el *VAN* esperado

Sensibilidad de las variables aleatorias	Valor	*VAN* social	%Cambio respecto a valor medio	*VAN* financiero	%Cambio respecto a valor medio
Desviación sobre costes					
Valor medio	10	115.368.992	–	11.696.721	–
Valor mínimo	0	137.078.175	18,8%	33.405.904	185,6%
Valor máximo	30	71.950.624	-37,6%	-31.721.647	-371,2%
Valor del tiempo (por vehículo)					
Valor medio	4	115.368.992	–	11.696.721	–
Valor mínimo	3	50.659.098	-56%	–	–
Valor máximo	5	180.078.885	56%	–	–
Tasa de crecimiento del tráfico					
Valor medio	3	115.368.992	–	11.696.721	–
Valor mínimo	2	43.352.355	-62,4%	-33.312.215	-384,8%
Valor máximo	4	206.559.719	79%	68.689.074	487,2%

la evolución de la demanda tiene un fuerte impacto sobre la rentabilidad y también la desviación de los costes de inversión con respecto a la cantidad inicialmente presupuestada. A continuación se discuten brevemente las implicaciones prácticas de estos resultados en términos del contenido del contrato de concesión.

El contrato de concesión y el papel de los incentivos en la evaluación

Hemos visto cómo el proyecto evaluado presenta una rentabilidad social evidente junto a una rentabilidad financiera esperada positiva aunque sujeta a una variabilidad importante que incluye pérdidas en el 37,5 % de los casos posibles.

En estas circunstancias en las que el proyecto aumenta el bienestar social y al mismo tiempo la inversión privada está comprometida por el riesgo que comporta la inversión, hemos identificado las fuentes del riesgo y por tanto el contrato de concesión podría diseñarse con mecanismos que favorecieran la reducción de dicho riesgo sin afectar al *VAN* real o afectándolo positivamente.

El riesgo de este proyecto está vinculado a los costes de inversión fundamentalmente y a la demanda esperada. El *VAN* financiero esperado es positivo pero sería negativo si los costes se desvían al alza. Con respecto a la demanda, una simple reducción del 4% de la demanda del primer año dejaría el proyecto en el umbral de rentabilidad, mientras que un crecimiento del 2% anual acumulativo (valor mínimo) frente al 3% (valor esperado) colocaría al proyecto en pérdidas. La naturaleza de los riesgos mencionados es diferente:

1. El **riesgo de demanda está prácticamente fuera del control del operador**. Poco puede hacer el concesionario para atraer tráfico, dado el tiempo de recorrido y el precio. La demanda crecerá a tasas determinadas por la evolución de la economía, el crecimiento de la población y *shocks* exógenos de difícil o imposible predicción.

2. Por el contrario, **los costes de inversión, como los de mantenimiento y operación, sí dependen parcialmente del esfuerzo que realice el concesionario.** Construir y explotar con mayor eficiencia reduce costes y el operador se esforzará en esta dirección si es recompensado.

Mecanismos de compensación e incentivos.

Asegurar el equilibrio financiero al concesionario en cualquiera de las circunstancias o bien compensándole por la reducción de ingresos, prolongándole la vida de la concesión o elevando los precios, **tiene dos efectos perversos:**

1. El primero es el de vulnerar la esencia del concurso público y su finalidad (elegir la mejor oferta), ya que si los operadores anticipan la renegociación en caso de dificultades financieras es menos probable que el concesionario eficiente gane el concurso dada la probabilidad de que se presenten ofertas oportunistas con la esperanza de una posterior renegociación.

2. El segundo problema está estrechamente vinculado al proceso de evaluación y consiste en que si los incentivos no son los adecuados y las empresas producen con ineficiencia es posible que el *VAN* esperado nunca se realice, o bien porque los costes son superiores a los presupuestados o porque los precios se elevaron durante la vida de concesión para evitar pérdidas a la empresa.

Tanto la elevación de los costes como la reducción de la demanda que sigue a una subida de precios podría originar un *VAN* social *real* negativo frente al *VAN* social *esperado* positivo. El tipo de contrato puede ayudar a que el *VAN* social *ex ante* y *ex post* coincidan evitando que el proceso de evaluación se convierta en un ejercicio poco útil.

Con las características del proyecto de nuestro ejemplo, el contrato de concesión podría incluir cláusulas de indexación de costes (*cost passthrough*) en aquellas partidas en las que la empresa no puede influir en absoluto, como por ejemplo, las normas de seguridad vigentes o causas de fuerza mayor durante la construcción de la infraestructura. También la utilización de mecanismos de coste prefijado al que la empresa no tiene derecho a revisión pero que si es capaz de reducirlo, sin afectar a la calidad, la ganancia queda en poder del operador.

Finalmente, y con respecto al riesgo de demanda, conviene recordar que el problema surge del carácter fijo del plazo concesional. Examinar alternativas de plazo variable en las que las empresas se esfuerzan en reducir costes para ganar el concurso y posteriormente para obtener beneficios, y no se perjudican por las fluctuaciones de la demanda puede ser una buena manera de asegurarse la participación privada minimizando muchos de los elementos negativos que surgen cuando los concursos públicos de adjudicación y posterior control no funcionan adecuadamente.

3.3. Métodos alternativos

En esta sección se presentan dos formas alternativas para evaluar el proyecto de inversión de la nueva carretera del corredor *Este-Oeste*. La primera de ellas afecta al cálculo de los beneficios y costes sociales que se incluyen en el *VAN* social, mientras que la segunda afecta al cómputo tanto del *VAN* social como del *VAN* financiero.

3.3.1. Cálculo del VAN social mediante cambios en la disposición a pagar y en los recursos utilizados

Hasta ahora hemos medido los beneficios y costes sociales del proyecto a partir de los cambios producidos en los excedentes de los agentes económicos afectados por el mismo. Sin embargo, tal como se vio en el capítulo anterior esta medición puede realizarse de manera alternativa, ignorando las transferencias de renta y calculando los cambios en la utilización de recursos y en la disposición a pagar, con independencia de quién se apropia dicho valor.

En el caso particular del ejemplo que estamos evaluando, los beneficios y costes sociales mediante esta aproximación, estarían recogidos en la siguiente expresión:

$$VAN_s = -\sum_{t=0}^{2}\frac{(I_t+E_t)}{(1+i)^t}+\sum_{t=3}^{40}\frac{v(\tau^0-\tau^1)q_t^0+(z^0-z^1)q_t^0}{(1+i)^t}+$$
$$+\sum_{t=3}^{40}\frac{\frac{1}{2}(q_t^1-q_t^0)(g^0+g^1)-(v\tau^1+z^1)(q_t^1-q_t^0)}{(1+i)^t}+$$
$$+\sum_{t=3}^{40}\frac{C^0-C^1+\varepsilon^0q_t^0-\varepsilon^1q_t^1}{(1+i)^t} \qquad (3.8)$$

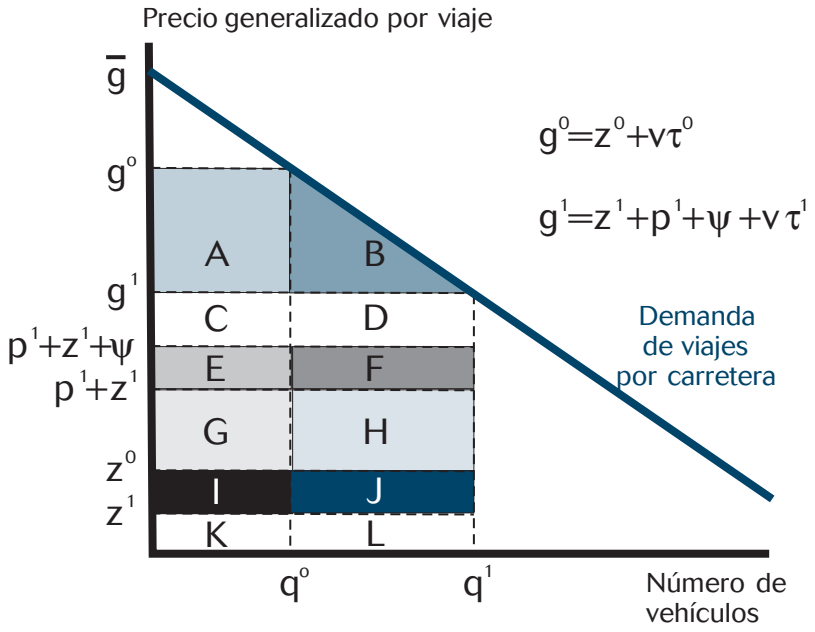
Formalmente resulta inmediato comprobar la equivalencia entre las expresiones (3.8) y la (3.1). Desarrollando ambas se observa que conducen al mismo resultado. Esto mismo puede observarse en la **Figura 3.5**, donde la equivalencia entre la aproximación basada en los cambios en los excedentes y la basada en las disposiciones a pagar resulta aún más evidente.

Comparando ambas aproximaciones

Teniendo en cuenta que los costes de la infraestructura (efectos externos incluidos) y las externalidades durante la vida del proyecto no se han representado para simplificar la figura, el **beneficio social utilizando el método de los cambios en los excedentes** estaría integrado por:

Componente	Expresión	Área
Cambio en el excedente de todos los viajeros	$\frac{1}{2}(g^0 - g^1)(q^1 + q^0)$	**A + B**
Cambio en el excedente del productor	$p^1q^1 + C^0 - C^1$ (no representado)	**G + H + I + J**
Cambio en el excedente de los contribuyentes	ψq^1	**E + F**
Cambio en los costes sociales (externalidades)	$-\varepsilon^1q^1 + \varepsilon^0q^0$	No representado

Figura 3.5. Medición de los beneficios sociales por dos aproximaciones



Desde otra perspectiva, el **beneficio social calculado utilizando el método del cambio en los recursos utilizados y las disposiciones a pagar** vendría dado por la suma neta de las mismas áreas, aunque agregadas en orden diferente:

Componente	Expresión	Área
Valor del tiempo ahorrado	$v(\tau^0 - \tau^1)q^0$	**A + E + G**
Valor de los costes operativos ahorrados	$(z^0 - z^1)q^0$	**I**
Disposición a pagar (nuevos viajeros)	$\frac{1}{2}(g^0 + g^1)(q^1 - q^0)$	**B+D+F+H+J+L**
Valor del tiempo invertido (nuevos viajeros)	$v\tau^1(q^1 - q^0)$	**– D**
Cambio en los costes operativos (nuevos viajeros)	$-z^1(q^1 - q^0)$	**– L**
Cambio en los costes privados	$C^0 - C^1$	No representado
Cambio en los costes sociales (externalidades)	$-\varepsilon^1 q^1 + \varepsilon^0 q^0$	No representado

Esta segunda aproximación permite una desagregación diferente de los beneficios sociales, aunque los valores obtenidos en la última columna del cuadro siguiente muestra que es equivalente a la aproximación realizada en la primera columna del **Cuadro 3.3**, ya presentado en la sección anterior.

Cuadro 3.6. Componentes de los beneficios sociales mediante la aproximación del cambio en la disposición a pagar y los recursos

t	Inversión prevista (*)	Valor del tiempo ahorrado	Ahorro de costes operativos	Disposición a pagar nuevos viajeros	Valor tiempo nuevos viajeros	Costes operativos nuevos viajeros	Cambio costes infraestructura	Cambio costes externos	Beneficios sociales (*)
0	–123.750.000								**–123.750.000**
1	–61.875.000								**–61.875.000**
2	–61.875.000								**–61.875.000**
3		9.572.289	5.324.585	9.647.072	-2.871.687	-3.140.907	-1.130.550	41.879	**17.442.681**
4		9.859.457	5.484.323	9.936.484	-2.957.837	-3.235.134	-1.135.216	43.135	**17.995.212**
5		10.155.241	5.648.853	10.234.579	-3.046.572	-3.332.188	-1.140.023	44.429	**18.564.318**
6		10.459.898	5.818.318	10.541.616	-3.137.969	-3.432.154	-1.144.973	45.762	**19.150.498**
7		10.773.695	5.992.868	10.857.865	-3.232.109	-3.535.119	-3.100.073	47.135	**17.804.263**
8		11.096.906	6.172.654	11.183.600	-3.329.072	-3.641.172	-1.155.325	48.549	**20.376.141**
9		11.429.813	6.357.834	11.519.109	-3.428.944	-3.750.407	-1.160.734	50.005	**21.016.675**
10		11.772.707	6.548.569	11.864.682	-3.531.812	-3.862.920	-1.166.306	51.506	**21.676.425**
11		12.125.889	6.745.026	12.220.622	-3.637.767	-3.978.807	-1.172.046	53.051	**22.355.968**
12		12.489.665	6.947.376	12.587.241	-3.746.900	-4.098.171	-3.127.957	54.642	**21.105.897**
13		12.864.355	7.155.798	12.964.858	-3.859.307	-4.221.117	-1.184.046	56.282	**23.776.824**
14		13.250.286	7.370.472	13.353.804	-3.975.086	-4.347.750	-1.190.317	57.970	**24.519.378**
15		13.647.795	7.591.586	13.754.418	-4.094.338	-4.478.183	-1.196.777	59.709	**25.284.210**
16		14.057.228	7.819.333	14.167.051	-4.217.169	-4.612.528	-1.203.430	61.500	**26.071.986**
17		14.478.945	8.053.913	14.592.062	-4.343.684	-4.750.904	-3.160.283	63.345	**24.933.396**
18		14.913.314	8.295.531	15.029.824	-4.473.994	-4.893.431	-1.217.341	65.246	**27.719.147**
19		15.360.713	8.544.397	15.480.719	-4.608.214	-5.040.234	-1.224.612	67.203	**28.579.972**
20		15.821.534	8.800.729	15.945.140	-4.746.460	-5.191.441	-1.232.100	69.219	**29.466.621**
21		16.296.180	9.064.750	16.423.494	-4.888.854	-5.347.184	-1.239.813	71.296	**30.379.870**

t	Inversión prevista (*)	Valor del tiempo ahorrado	Ahorro de costes operativos	Disposición a pagar nuevos viajeros	Valor tiempo nuevos viajeros	Costes operativos nuevos viajeros	Cambio costes infraestructura	Cambio costes externos	Beneficios sociales (*)
22		16.785.066	9.336.693	16.916.199	-5.035.520	-5.507.600	-3.197.757	73.435	**29.370.516**
23		17.288.618	9.616.794	17.423.685	-5.186.585	-5.672.828	-1.255.940	75.638	**32.289.381**
24		17.807.276	9.905.297	17.946.396	-5.342.183	-5.843.013	-1.264.368	77.907	**33.287.313**
25		18.341.495	10.202.456	18.484.788	-5.502.448	-6.018.303	-1.273.049	80.244	**34.315.182**
26		18.891.740	10.508.530	19.039.331	-5.667.522	-6.198.852	-1.281.991	82.651	**35.373.888**
27		19.458.492	10.823.786	19.610.511	-5.837.548	-6.384.818	-3.241.200	85.131	**34.514.354**
28		20.042.246	11.148.500	20.198.826	-6.012.674	-6.576.362	-1.300.687	87.685	**37.587.535**
29		20.643.514	11.482.955	20.804.791	-6.193.054	-6.773.653	-1.310.457	90.315	**38.744.411**
30		21.262.819	11.827.443	21.428.935	-6.378.846	-6.976.863	-1.320.521	93.025	**39.935.993**
31		21.900.704	12.182.267	22.071.803	-6.570.211	-7.186.168	-1.330.886	95.816	**41.163.323**
32		22.557.725	12.547.734	22.733.957	-6.767.317	-7.401.753	-3.291.563	98.690	**40.477.473**
33		23.234.457	12.924.167	23.415.976	-6.970.337	-7.623.806	-1.352.560	101.651	**43.729.547**
34		23.931.490	13.311.892	24.118.455	-7.179.447	-7.852.520	-1.363.887	104.700	**45.070.683**
35		24.649.435	13.711.248	24.842.009	-7.394.831	-8.088.096	-1.375.553	107.841	**46.452.054**
36		25.388.918	14.122.586	25.587.269	-7.616.675	-8.330.739	-1.387.570	111.077	**47.874.865**
37		26.150.586	14.546.263	26.354.887	-7.845.176	-8.580.661	-3.349.947	114.409	**47.390.361**
38		26.935.103	14.982.651	27.145.534	-8.080.531	-8.838.081	-1.412.695	117.841	**50.849.822**
39		27.743.156	15.432.131	27.959.900	-8.322.947	-9.103.223	-1.425.826	121.376	**52.404.567**
40	45.000.000	28.575.451	15.895.095	28.798.697	-8.572.635	-9.376.320	-1.439.351	125.018	**99.005.954**

El cuadro presenta los valores correspondientes a cada año (sin descontar) en términos reales.

(*) La columna "Inversión prevista" incorpora la desviación esperada en los costes de construcción (+10%). Los beneficios sociales son la suma de las columnas anteriores y coinciden con los cálculos realizados en el **Cuadro 3.2** usando el método de la variación de excedentes.

3.3.2. Calculo del VAN financiero usando magnitudes monetarias

Junto a esta doble posibilidad de calcular los beneficios sociales dentro del *VAN* social, una segunda aproximación está relacionada con el uso de magnitudes monetarias nominales en lugar de valores reales, como hasta ahora. En ambos casos, se obtiene el mismo resultado, aunque para los cálculos financieros puede resultar más útil la utilización de unidades monetarias corrientes en lugar de reales.

Para ilustrar esta idea, consideremos el *VAN* financiero calculado a través de las expresiones (3.2) y (3.7). En lugar de expresarlos en términos reales, cada uno de los componentes de ΔEP debemos expresarlo ahora en términos nominales, es decir, teniendo en cuenta la tasa de inflación de cada año (m). Así, para cada año tendríamos:

$$\Delta EP_t^{\text{nominal}} = \left[p_t^1 (1+m)^t q^1 - p_t^0 (1+m)^t q^0 \right] - \left[C_t^1 (1+m)^t - C_t^0 (1+m)^t \right] \tag{3.9}$$

y también habría que actualizar la inversión inicial con la inflación. Esto hace que el cómputo del VAN financiero en términos nominales venga dado por:

$$VAN_f = -\sum_{t=0}^{2} \frac{I_t (1+m)^t}{(1+i_n)^t} + \sum_{t=3}^{40} \frac{\Delta EP_t^{\text{nominal}}}{(1+i_n)^t} \tag{3.10}$$

donde i_n representa el tipo de interés nominal. Para unos valores del tipo de interés real y de la inflación anual de i=0,05 y m=0,04 en este ejemplo del corredor *Este-Oeste*, el tipo de interés nominal a aplicar sería $i_n = i + m + (im) = 0{,}092$.

La última columna del **Cuadro 3.7** confirma que el cálculo del *VAN* financiero esperado utilizando la expresión anterior y el tipo de de interés nominal coincide con el obtenido en el **Cuadro 3.3**, por lo que ambas aproximaciones metodológicas son equivalentes.

Cuadro 3.7. Cálculo del VAN financiero esperado (en términos nominales)

t	Inversión	Variación de ingresos	Variación de costes	*VAN* financiero esperado
0	-123.750.000			-123.750.000
1	-64.350.000			-182.678.571
2	-66.924.000			-238.801.020
3		13.122.918	-1.271.715	-229.699.907
4		14.057.270	-1.328.042	-220.748.083
5		15.058.148	-1.387.012	-211.943.853
6		16.130.288	-1.448.757	-203.285.495
7		17.278.764	-4.079.484	-196.157.099
8		18.509.012	-1.581.142	-187.785.253
9		19.826.854	-1.652.087	-179.554.016
10		21.238.526	-1.726.419	-171.461.608
11		22.750.709	-1.804.310	-163.506.239

t	Inversión	Variación de ingresos	Variación de costes	*VAN* financiero esperado
12		24.370.560	-5.007.960	-156.771.946
13		26.105.744	-1.971.523	-149.085.263
14		27.964.472	-2.061.244	-141.530.219
15		29.955.543	-2.155.327	-134.105.012
16		32.088.378	-2.254.002	-126.807.837
17		34.373.070	-6.155.917	-120.487.673
18		36.820.433	-2.466.110	-113.441.166
19		39.442.047	-2.580.072	-106.517.303
20		42.250.321	-2.699.683	-99.714.299
21		45.258.544	-2.825.246	-93.030.377
22		48.480.952	-7.578.425	-87.130.375
23		51.932.796	-3.095.535	-80.679.322
24		55.630.411	-3.240.960	-74.342.077
25		59.591.297	-3.393.741	-68.116.903
26		63.834.197	-3.554.281	-62.002.078
27		68.379.192	-9.345.576	-56.518.196
28		73.247.790	-3.900.373	-50.618.951
29		78.463.033	-4.086.859	-44.824.966
30		84.049.601	-4.282.974	-39.134.576
31		90.033.932	-4.489.258	-33.546.128
32		96.444.348	-11.546.996	-28.467.228
33		103.311.186	-4.934.654	-23.077.778
34		110.666.942	-5.175.018	-17.785.416
35		118.546.429	-5.428.056	-12.588.558
36		126.986.934	-5.694.493	-7.485.639
37		136.028.404	-14.297.875	-2.795.757
38		145.713.627	-6.270.691	2.123.916
39		156.088.437	-6.582.136	6.954.244
40		167.201.933	-6.910.354	11.696.721

Capítulo 4.

Aspectos específicos

4.1. Aspectos específicos de la evaluación de proyectos de transporte

La aplicación práctica de la metodología general para la evaluación económica de proyectos de transporte presentada en los capítulos anteriores de este *Manual* requiere algo más de concreción en ciertos aspectos determinantes, tales como la predicción de la demanda en un determinado corredor, la cuantificación de los beneficios sociales derivados de la generación de tráfico, la valoración de ciertos bienes para los cuales no existe un mercado específico (como la seguridad o la contaminación), la presencia o no de congestión o limitaciones de capacidad en determinadas infraestructuras, o el efecto global de un proyecto sobre otros modos o su impacto regional.

Este es el **objetivo de este capítulo**, donde se presenta **una discusión no exhaustiva de los principales aspectos específicos que se requieren para la aplicación del ACB a proyectos de transporte**, indicando cómo se han tratado habitualmente dichos elementos y proporcionando valores y estimaciones de las principales magnitudes utilizadas habitualmente.

De esta manera, en la **Sección 4.2** se abordan algunos de los problemas generales en predicción de la demanda de transporte, así como algunas referencias sobre las principales elasticidades de demanda. En la **Sección 4.3** el análisis se centra en la medición del tráfico inducido, mientras que en la **Sección 4.4** aborda la medición de aquéllos elementos para los que no existe mercado. La **Sección 4.5** discute los problemas de la intermodalidad, la **Sección 4.6** las consecuencias de la congestión en infraestructuras y la **Sección 4.7** concluye con algunas reflexiones sobre los proyectos de integración regional.

4.2. La predicción de la demanda

Disponer de una buena predicción de la demanda futura es **uno de los elementos más importantes en la evaluación de cualquier proyecto de transporte**, tanto para el diseño y dimensionamiento de infraestructuras como para la organización de los servicios correspondientes. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, la larga duración de los proyectos y las numerosas fuentes de incertidumbre que pueden afectarlos hace que no sea fácil, y que aparezcan errores de predicción.

El coste de los errores de predicción

Los errores en la predicción de la demanda son frecuentes y, en ocasiones, inevitables. Su coste puede ser elevado, aunque difiere dependiendo de si afectan a infraestructuras o servicios. Por ejemplo el caso del transporte urbano de viajeros por autobús, la empresa puede corregir su oferta inicial intensificando el número de expediciones o reduciendo el número de vehiculos en circulación.

Los errores en la predicción de la demanda son mucho más costosos en los proyectos de inversión en carreteras, vías férreas, puertos o aeropuertos. Una vez construida, una línea ferroviaria que no atraiga a la cantidad de pasajeros que se esperaba no se puede desmontar y trasladarse a otro lugar (aunque técnicamente fuese posible) y la sociedad habrá invertido unos recursos sin suficiente contrapartida en beneficios sociales. Igualmente, si se construye una carretera cuya capacidad es inferior a la demanda, los problemas de congestión elevarán los costes de los usuarios en el futuro, haciendo incluso que la demanda no atendida deba desviarse hacia otros lugares.

La importancia de una predicción de la demanda acertada es mayor cuanto mayor sea la inmovilidad e inflexibilidad de los recursos asociados a las actividades de transporte.

Problemas asociados a los errores de predicción

El desajuste entre oferta y demanda derivado de la presencia de algún factor que limite la capacidad puede generar **dos tipos distintos de problemas:**

1. En el caso de que la demanda sea "alta" (significativamente por encima de las previsiones para las que se diseñó la capacidad) ésta será insuficiente, generándose un problema de exceso de demanda que se manifiesta en forma de **escasez o de congestión**.

   El concepto de **escasez** en infraestructuras está ligado a la insuficiencia de capacidad dado el precio en vigor. Puede haber escasez sin congestión. La escasez se produce en infraestructuras, por ejemplo aeropuertos, donde la entrada es autorizada previamente, al contrario de una carretera donde los usuarios no han de comunicar previamente su intención de utilizarla. Un aeropuerto en el que se asignan un número de *slots* correspondientes a la capacidad máxima y que es capaz de dar servicio a todos los aviones sin retrasos, puede tener una demanda de utilización superior a los *slots* disponibles: a esta situación nos referimos con el término escasez.

   El concepto de **congestión** es bien conocido y se produce cuando la interacción de unos agentes con otros en el uso común de la infraestructura eleva el precio generalizado de utilizarla. Este fenómeno es característico de las carreteras, donde la entrada no está sujeta a autorización previa, pero también de los aeropuertos, donde pueden producirse congestión por desajustes de la llegada real de los aviones con respecto a la programada, mal tiempo, etc., con consecuencias conocidas como los retrasos y las cancelaciones de vuelos.

2. Si, por el contrario, la demanda real está por debajo de las previsiones el sistema estará infrautilizado, apareciendo **exceso de capacidad**. Esto suele conllevar problemas financieros, particularmente en el caso de financiación privada, ya que los ingresos generados no permitirán cubrir los costes.

Estos dos tipos de problemas suelen aparecer con relativa frecuencia en la construcción y explotación de carreteras, puertos y aeropuertos. En algunos casos, bien por crecimiento excesivo de la demanda, o por una planificación incorrecta de la capacidad (o por ambas) el nivel de tráfico (particularmente en los períodos punta) genera graves problemas de congestión y retrasos.

En algunos países se han construido mediante contratos de concesión algunas infraestructuras de transporte, como las carreteras de peaje, para las que no ha habido demanda suficiente, ya sea porque los peajes eran excesivos o porque rutas paralelas proporcionaban una alternativa con menor precio generalizado. En estos casos, la amortización de la inversión y los costes de mantenimiento han supuesto una carga difícil de sobrellevar y en algunas ocasiones ha sido necesario renegociar el contrato de concesión.

Existen **soluciones a cada uno de estos problemas** pero, al contrario de lo que sucedía con los servicios de transporte, suelen ser costosas y difíciles de aplicar. **Para reducir la escasez o la congestión a corto plazo las opciones son racionar el uso de la infraestructura** (limitando por ejemplo la cantidad o tipo de equipo móvil admitido) **o utilizar los precios** (mediante tasas por congestión, por ejemplo). **A largo plazo, las actuaciones pueden consistir en aumentos de capacidad** (haciendo previamente una nueva predicción de demanda, para evitar incurrir en los mismos errores).

En el caso del **exceso de capacidad, una reducción de precios puede ser también una solución viable a corto plazo**, ya que incrementa el nivel de ocupación (aumentando o no los ingresos dependiendo de la elasticidad de la demanda). Una alternativa de **largo plazo consiste en fomentar el crecimiento de la demanda mediante otros mecanismos e incentivos** (publicidad, descuentos impositivos, encarecimiento de medios de transporte alternativos, etc.), pero esto no siempre resulta posible o deseable.

En cualquier caso, la utilidad de una buena predicción de la demanda es clara, y ello requiere disponer de un conocimiento adecuado de las principales técnicas y modelos de predicción de demanda.

4.2.1. ¿Cómo se predice la demanda de transporte?

Las técnicas utilizadas actualmente para predecir la demanda de transporte tienen su origen en la década de 1950, a partir de los estudios realizados para la expansión del transporte urbano en las grandes áreas metropolitanas de Estados Unidos. A lo largo de las últimas décadas, los procedimientos se han ido consolidando

progresivamente, aumentando el número de aplicaciones, y mejorando su calidad a medida que lo hacían los métodos estadísticos, la disponibilidad de datos y las posibilidades del cálculo informático. Durante este período se han producido dos cambios importantes:

1. En primer lugar, se ha realizado un enorme esfuerzo para proporcionar un **fundamento teórico sólido a las técnicas de predicción de demanda**. Frente al enfoque eminentemente práctico y aplicado de los primeros estudios, se ha intentado justificar los modelos de predicción de demanda a través de la teoría del comportamiento del consumidor, incluyendo en ella como elemento fundamental el valor del tiempo de los usuarios del transporte.

2. En segundo lugar, se ha producido un cambio de enfoque en el objetivo de los estudios. Los trabajos pioneros se centraban principalmente en problemas de provisión de capacidad viaria, reflejando el espectacular crecimiento experimentado por el transporte privado. Aunque esta preocupación se mantiene en los estudios actuales, **la predicción de la demanda con el fin de analizar los efectos externos del transporte va ganando mayor importancia**

Enfoques agregados vs. desagregados

Según la distinta naturaleza que puede presentar la información empleada en la predicción de demanda es posible distinguir dos enfoques diferentes para el análisis y predicción de la demanda de transporte: el **enfoque agregado** y el **enfoque desagregado**.

Aunque la mayoría de los estudios se pueden abordar desde ambas perspectivas, **el nivel de agregación está condicionado por las características de la información disponible de partida y condiciona el alcance de la predicción**: con datos agregados no pueden hacerse predicciones sobre el comportamiento de los individuos. Por el contrario, en ocasiones resulta posible extrapolar resultados desagregados al conjunto de la población, si previamente se ha utilizado una muestra representativa.

Habitualmente, son las condiciones concretas del mercado, el alcance del estudio y los recursos disponibles los factores que determinan en última instancia el enfoque (agregado o desagregado) elegido finalmente.

En cualquiera de los casos, la metodología tradicional para la estimación de la demanda define la demanda de transporte como **un proceso complejo que se subdivide en decisiones o etapas más simples:** ¿se desea viajar? ¿A dónde se desea ir? ¿Cómo (en qué medio) se desea viajar? ¿Cuándo y por qué ruta se desea ir?, etc.

Cada una de estas preguntas se puede plantear formalmente a través de una relación funcional del tipo:

$$Y = f(X_{viaje}, X_{viajeros}) + \xi \qquad (4.1)$$

donde Y es la variable dependiente que representa la respuesta a la pregunta en cuestión y donde (X_{viaje}, $X_{viajeros}$) son los conjuntos de características del viaje y de los viajeros que actúan como variables explicativas, incluyendo, además de la tarifa, elementos relacionados con el nivel de servicio y las características del medio de transporte.

Especificación y discusión de modelos

En los modelos agregados Y suele ser una variable continua (por ejemplo, el total de aviones que aterrizan anualmente en los aeropuertos de un país) y está explicada, a través de la función $f(\cdot)$, por un conjunto de variables explicativas de tipo agregado o macroeconómico (PNB, tipos de cambio, número de establecimientos turísticos, etc.)

Generalmente, esta relación no es exacta por lo que resulta necesario incluir un término de error aleatorio (ξ) cuya minimización suele ser uno de los objetivos del proceso de estimación. A partir de los supuestos realiza-

dos sobre la distribución de probabilidad de este término de error, y una vez especificada la forma funcional $f(\cdot)$, para la estimación de la expresión (4.1) se requiere únicamente disponer de una base de datos adecuada para proceder a la estimación.[52]

Las principales limitaciones de este enfoque agregado para la predicción de la demanda radican en su escasa flexibilidad, su limitada precisión y su elevado coste con relación a la utilidad práctica de sus resultados, cuyo carácter agregado limitaba precisamente su utilización con fines de política económica. Estas críticas han favorecido el desarrollo creciente de los modelos desagregados de predicción de demanda, donde el análisis se centra en empresas, zonas geográficas o corredores de tráfico concretos.

4.2.2. La estimación de la elasticidad de la demanda

Conocer si la demanda de transporte es más o menos elástica resulta muy útil tanto para la predicción de la misma (anticipando cómo variará la cantidad, por ejemplo, si aumenta la renta), como para la evaluación del impacto de algunas políticas de transporte.

Por ejemplo, es posible que una mejora en las condiciones de un servicio reduzca su precio generalizado y probablemente atraiga a más usuarios, pero también podría conllevar un mayor coste. **Saber cuál es exactamente el valor de la elasticidad de la demanda respecto a tal mejora permite valorar dos cuestiones:**

1. si los costes en que se incurre con la mejora se ven compensados con los beneficios derivados del aumento de la demanda;

2. si hay otro atributo o característica del servicio o infraestructura que, con igual o menor dedicación de recursos permita obtener mejores resultados.

Elasticidad-precio

La magnitud más importante con respecto a la cual suele medirse la elasticidad de la demanda es su propio precio. Suele utilizarse el precio no generalizado p (en lugar de g) porque el impacto sobre la demanda de cambios en el tiempo de viaje suele medirse con su propia elasticidad.

En general, la elasticidad-precio en una actividad de transporte i con respecto a su propio precio p_i puede escribirse como

$$\eta_{ii} = \frac{dq_i}{dp_i}\frac{p_i}{q_i} \qquad (4.2)$$

donde q_i representa cualquier medida de *output*, como los viajes realizados, el número de pasajeros o el volumen de carga transportado. En ambos casos resulta habitual estimar esta expresión distinguiendo entre modos de transporte, tal como muestra el **Cuadro 4.1**.

[52] Así, cuando la relación entre las variables es de tipo lineal, la técnica más utilizada en el enfoque agregado es la de mínimos cuadrados ordinarios. Este procedimiento también es válido cuando las variables presentan ciertas relaciones no lineales, de tipo logarítmico o exponencial. En otros modelos, donde la función $f(\cdot)$ refleja relaciones más complejas, se aplican otros procedimientos basados en el método de máxima verosimilitud. Una discusión avanzada de las principales cuestiones econométricas relativas a los modelos de demanda puede encontrarse, por ejemplo, en McFadden, D. (1981): "Econometric Models of Probabilistic Choice", en Manski, C. y D. McFadden (eds), *Structural Analysis of Discrete Choice Data*. MIT Press, Cambridge, Mass.

Cuadro 4.1. Estimaciones de la elasticidad-precio por modo de transporte

Modo de transporte	Rango de valores estimados	País	Datos y método
Transporte privado (automóvil)	[–0,13 a –0,45]	EE.UU.	Estimaciones de corto y largo plazo.
	[–0,09 a –0,52]	Australia	Estimaciones de corto y largo plazo.
	[–0,14 a –0,36]	Reino Unido	Diversos métodos
	[–0,10 a –0,29]	Hong Kong	Estimaciones con datos de corte transversal
Transporte público (urbano)	[–0,01 a –0,62]	Múltiples ciudades	Datos de series temporales
	[–0,05 a –0,34]	Múltiples ciudades	Datos de corte transversal
	[–0,06 a –0,44]	Múltiples ciudades	Datos de panel
Transporte aéreo de viajeros	[–0,82 a –1,81]	Varios países	Datos de series temporales
	[–0,26 a –1,34]	Europa	Datos de series temporales
	[–0,76 a –4,51]	Varios países	Datos de corte transversal
	[–1,24 a –2,34]	EE.UU.	Datos desagregados
Transporte de viajeros por ferrocarril	[–0,15 a –1,50]	Reino Unido	Datos desagregados
Transporte de carga por ferrocarril	[–0,09 a –0,60]	EE.UU.	Carga agregada
	[–0,02 a –1,18]	EE.UU.	Productos alimenticios
Transporte de carga por carretera	[–0,69 a –1,34]	EE.UU.	Carga agregada
	[–0,52 a –1,54]	EE.UU.	Productos alimenticios

Fuente: Elaboración propia.[53]

El **rango de valores estimados varía entre modos, países y métodos,** lo cual ha sido aprovechado en algunos estudios recientes[54] para identificar posibles sesgos sistemáticos y/o errores en los procedimientos utilizados. A pesar de ello, existe un consenso generalizado en considerar que **la demanda de utilización del vehículo privado es claramente inelástica, con valores sensiblemente inferiores a la unidad.**

[53] La mayoría de los datos de este cuadro proceden de los trabajos clásicos de Goodwin y Oum et al. publicados ambos en 1992 [Goodwin P.B. (1992): "A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes", *Journal of Transport Economics and Policy* 26(2): 155-169, y Oum, T.H., W.G. Waters y J.S. Yong (1992): "Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and Recent Empirical Estimates: an Interpretative Survey", *Journal of Transport Economics and Policy* 26 (2): 139-169]. Adicionalmente, algunos datos se han actualizado con referencias posteriores procedentes de G. Alperovich y Machnes, Y. (1994): "The Role of Wealth in Demand for International Air Travel", *Journal of Transport Economics and Policy* 28(2): 163-173 y Graham, D.J. y S. Glaister (2005): "Decomposing the Determinants of Road Traffic Demand", *Applied Economics* 37(1): 19-28.

[54] Véase por ejemplo, Kremers, H., P. Nijkamp y P. Rietveld (2002): "A Meta-Analysis of Price Elasticities of Transport Demand in a General Equilibrium Framework", *Economic Modelling* 19(3), 463-85.

En el transporte público urbano de viajeros, las estimaciones obtenidas para la elasticidad-precio suelen encontrarse también por debajo de la unidad, aunque pueden aparecer cifras mayores dependiendo de la ciudad y del modo dominante en ella. El transporte aéreo y ferroviario interurbano presenta valores mayores, aunque también con una mayor dispersión. Con respecto a la elasticidad de la demanda de transporte de mercancías, ésta depende mucho del tipo de carga, obteniéndose en algunos casos valores claramente mayores a uno.

La elasticidad de la demanda con respecto al precio también puede tomar valores muy diferentes dependiendo de cuál sea el motivo del viaje. Esto está relacionado con la obligatoriedad o no de realizar dicho viaje y con la posibilidad de aplazarlo o realizarlo en otro momento. En general, como muestra el **Cuadro 4.2**, los viajes al trabajo o por motivos de negocio suelen presentar elasticidades inferiores a aquellos que se realizan por motivos de carácter personal (ocio, compras, etc.)

También existen diferencias en la elasticidad de la demanda de transporte público respecto a su precio dependiendo de si el billete se compra directamente o se paga a través de cualquier tipo de abono. En este último caso, algunos estudios han demostrado que la demanda es menos elástica, debido a que esta forma de pago es empleada mayoritariamente por usuarios que utilizan mucho el transporte público y para los cuales hay pocas alternativas de viaje disponibles.

Cuadro 4.2. Estimaciones de la elasticidad-precio por motivo de viaje

Motivo del viaje y modo	Rango de valores estimados	País	Datos y método
Negocio (ferrocarril)	[–0,67 a –1,00]	Reino Unido	Datos de series temporales
	[–0,60 a –0,70]	EE.UU.	Datos de corte transversal
Ocio (ferrocarril)	[–0,37 a –1,54]	Reino Unido	Datos de series temporales
	[–1,30 a –1,40]	EE.UU.	Datos de corte transversal
Negocio (avión)	[–0,50 a –0,65]	Europa	Datos de series temporales
	[–1,00 a –1,15]	Europa	Datos de corte transversal
Ocio (avión)	[–0,40 a –0,92]	Europa	Datos de series temporales
	[–1,05 a –1,52]	Europa	Datos de corte transversal

Fuente: Elaboración propia.[55]

Elasticidad cruzada

La demanda de una actividad de transporte también se ve afectada por el precio y el nivel de servicio de las alternativas sustitutivas y complementarias que existan en el mismo mercado. La elasticidad cruzada mide cómo cambia la cantidad de viajeros o mercancías transportadas por un transportista (una compañía aérea por ejemplo) o en un modo de transporte (todo el transporte aéreo) cuando se modifican los precios cobrados por otro transportista o en otro modo de transporte alternativo.

El procedimiento para estimar empíricamente las elasticidades cruzadas no difiere excesivamente del utilizado con las elasticidades-precio, por lo que numerosos trabajos en la literatura han abordado este problema para la demanda de transporte de pasajeros.

[55] Las estimaciones de este cuadro proceden de las referencias mencionadas en las notas anteriores y de otras posteriores, como Sonesson, T. (2001): "Inter-Urban Travel Demand Elasticities with Emphasis on Trip Generation and Destination Substitution", *Journal of Transport Economics and Policy* 35(2): 301-326.

Como regla general, la mayoría de los valores empíricos obtenidos para las elasticidades cruzadas son muy pequeños, especialmente entre el uso del vehículo privado y el precio de otros modos de transporte. Estos valores suelen ser tan pequeños que incluso un transporte público gratuito no produciría cambios espectaculares en el número de viajes realizados en transporte privado.

Así por ejemplo, Lago *et al.* (1992) obtienen estimaciones de la elasticidad cruzada del uso del vehículo privado con respecto al precio del billete de autobús en el rango de 0,02 a 0,16, mientras que los valores que obtienen con respecto al tren interurbano oscilan entre 0,05 y 0,011.[56]

Hensher (1997) estimó un modelo de elasticidades cruzadas entre varios modos de transporte y la utilización del automóvil privado en Australia. Sus resultados, resumidos en el cuadro siguiente, confirman que la interrelación entre modos de transporte suele ser pequeña, aunque en ocasiones tal relación depende del tipo de billete adquirido.[57]

Cuadro 4.3. Elasticidades cruzadas entre modos de transporte

Modo de transporte		Tren			Bus			Automóvil
		Pago directo	Abono 10 viajes	Abono mensual	Pago directo	Abono 10 viajes	Abono mensual	
Tren	Pago directo	–0,218	0,001	0,001	0,057	0,005	0,005	0,196
	Abono 10 viaje	0,001	–0,093	0,001	0,001	0,001	0,006	0,092
	Abono mensual	0,001	0,001	–0,196	0,001	0,012	0,001	0,335
Bus	Pago directo	0,067	0,001	0,001	–0,357	0,001	0,001	0,116
	Abono 10 viaje	0,020	0,004	0,002	0,001	–0,160	0,001	0,121
	Abono mensual	0,007	0,036	0,001	0,001	0,001	–0,098	0,020
Automóvil		0.053	0,042	0,003	0,066	0,016	0,003	–0,197

Fuente: Hensher (1997)

Elasticidad renta

En el transporte de viajeros, la elasticidad-renta de la demanda se define como el cambio porcentual en el número de viajeros transportados cuando cambia un 1% la renta de estos, manteniendo constante el resto de factores.

En general, **esta elasticidad suele ser positiva**. Tanto en el transporte privado por carretera como en el transporte aéreo, los kilómetros recorridos o el número de viajes realizados anualmente suelen ser mayores cuanto mayor es la renta de un país, y frecuentemente presentan elasticidades con valores muy superiores a la unidad (por ejemplo, entre 1,77 y 4,38 para el corredor Europa-EE.UU).[58]

Por el contrario, el autobús y, particularmente en algunos países, el ferrocarril convencional, suele ver reducida su demanda cuando la renta aumenta, por lo que el valor de su elasticidad-renta sería negativo.

Sin embargo, algunos estudios han ofrecido resultados diferentes. Esto se debe a que a medida que los usuarios disponen de mayor riqueza abandonan estos medios de transporte por otros más cómodos o flexibles.

[56] Lago, A., P. Mayworm, y J. McEnroe (1992): "Transit Rider-ship Responsiveness to Fare Changes", *Traffic Quarterly* 35 (1): 12-34.
[57] Hensher, D. (1997): "Establishing a Fare Elasticity Regime for Urban Passenger Transport: non-Concession Commuters", *Working Paper ITS-WP-97-6*, University of Sydney.
[58] Mutti, J. y Y. Murai (1977): "Airline travel on the North Atlantic", *Journal of Transport Economics and Policy* 11(1): 45-54.

Pero simultáneamente, entre los usuarios de más bajos ingresos, también puede ocurrir que un pequeño aumento en la renta les permita viajar más en transporte público (en lugar de utilizar la bicicleta o caminar), por lo que la elasticidad-renta podría ser finalmente positiva.

Otros trabajos han estimado cómo cambia la adquisición de automóviles privados cuando se modifica su coste de operación (combustible y mantenimiento) y la renta del propietario. La primera de esas elasticidades ofrece valores negativos entre –0,4 y –1,0 a corto plazo, pero puede llegar a duplicarse a largo plazo. Así, Glaister y Graham (2002)[59] estiman que la elasticidad a largo plazo del consumo de combustible por parte de un automovilista privado con respecto a su renta está comprendida entre 1,1 y 1,3, mientras que la relación entre el número de kilómetros recorridos en automóvil y la renta se sitúa entre 1,1 y 1,8.

Elasticidad con respecto al tiempo

Finalmente, un último concepto de elasticidad relevante es el que mide el cambio en la demanda de transporte cuando lo hace el tiempo (total o parcial) de viaje. **Esta elasticidad-tiempo depende fundamentalmente de las razones por las cuales se viaja.** Quienes se desplazan por motivos de negocio o trabajo suelen presentar una alta sensibilidad ante pequeños cambios en el tiempo del viaje, mientras que los viajeros por motivos de ocio asignan un menor valor a su tiempo.

En TRACE (1999)[60] se confirman estas ideas como muestra el **Cuadro 4.4**. En él se comparan distintas elasticidades-tiempo en un área urbana dependiendo del tipo de transporte utilizado y del motivo del viaje, confirmándose las observaciones anteriores. Asimismo se obtiene que los usuarios del automóvil privado (tanto conductores como pasajeros) presentan usualmente elasticidades negativas con respecto al tiempo de viaje (es decir, lo utilizarían menos si dicho tiempo aumentase, por ejemplo, debido a la congestión), mientras que los usuarios de transporte público y quienes caminan habitualmente, tienen elasticidades-tiempo positivas. Esto último revela que el aumento del tiempo de viaje podría afectar positivamente a la demanda de estos modos.[61]

Por otro lado, **la elasticidad de la demanda al tiempo de viaje también está relacionada con el tiempo que se va a permanecer en el destino** (lo que a su vez puede estar vinculado al motivo del viaje). Normalmente esta relación es inversa; así, si un viajero va a realizar un viaje de ida y vuelta en el mismo día o va a permanecer muy poco tiempo en un destino (esperando, por ejemplo, un vuelo de conexión) su elasticidad con respecto al tiempo será alta, mientras que en los viajes de vacaciones tardar un poco más o un poco menos no altera significativamente la decisión de viajar.

Cuadro 4.4. Elasticidades-tiempo según medio y motivo de viaje

Motivo /Modo	Conductor automóvil	Pasajero automóvil	Transporte público	Caminando
Commuting	–0,96	–1,02	+0,70	+0,50
Trabajo	–0,12	–2,37	+1,05	+0,94
Educación	–0,78	–0,25	+0,03	+0,03
Otro	–0,83	–0,52	+0,27	+0,21
Total	–0,76	–0,60	+0,39	+0,19

Fuente: TRACE (1999).

[59] Glaister, S. y D. Graham (2002): "The Demand for Automobile Fuel: a Survey of Elasticities," *Journal of Transport Economics and Policy* 36(1): 1-25.
[60] TRACE (1999): *Elasticity Handbook: Elasticities for Prototypical Contexts*. Prepared for the European Commission, Directorate-General for Transport, Contract No: RO-97-SC.2035 (www.hcg.nl/projects/trace/trace1.htm).
[61] Estos resultados han sido confirmados por estudios posteriores, como el realizado por de Jong, G. y H. Gunn (2001): "Recent Evidence on Car Cost and Time Elasticities of Travel Demand in Europe", *Journal of Transport Economics and Policy* 35(2): 137-60.

De manera consistente con la metodología desarrollada en los otros capítulos de este *Manual*, para la predicción de la demanda en proyectos de transporte (incluso aunque se disponga de datos fiables), conviene utilizar rangos de valores y distribuciones de probabilidad que, para las cifras de demanda esperadas o para las elasticidades, permitan evaluar el proyecto con variables aleatorias en lugar de deterministas. Al fin y al cabo, la incertidumbre de demanda es inevitable y de lo que se trata es de aprovechar la información disponible.

4.3. Medición del tráfico inducido

Las cuestiones generales sobre predicción de la demanda que se acaban de discutir tienen una aplicación particular muy concreta en el caso de las infraestructuras de transporte en lo referente a determinar cuántos de los usuarios que las utilizarán son usuarios existentes, cuántos son generados, y cuántos procederán de desviaciones de tráfico desde otros modos de transporte.

Esta distinción es importante en el cómputo de los beneficios sociales realizado en el **Capítulo 2**, ya que cuando se realiza la evaluación de un proyecto de transporte necesitamos estimar los beneficios por tipo de usuario y el número de usuarios beneficiados con el proyecto.

Para el escenario *sin proyecto*, o *caso base*, hay que predecir la demanda que en ausencia del proyecto tendría la carretera, el puerto o la línea de autobús objeto de evaluación durante la vida del proyecto. Si el proyecto reduce el precio generalizado de los usuarios en un valor monetario determinado y multiplicamos dicho valor por el número de usuarios que en cada año figuran en la predicción de tráfico, estaremos suponiendo que la demanda es fija.[62] La demanda fija de viajes no significa que el tráfico no aumenta, significa que no aumenta por la introducción del proyecto a lo largo de su vida útil.

Tráfico existente, desviado y generado

Aunque en el fondo se trata de una cuestión terminológica, resulta útil **distinguir entre tráfico existente, desviado y generado:**

- El tráfico **existente** sería el volumen de demanda de la infraestructura *sin* proyecto, por ejemplo, un tráfico que crece al 2% anual acumulativo.

- El tráfico **desviado** es el que como consecuencia de la mejora introducida por el proyecto abandona otra infraestructura o modo de transporte para beneficiarse de la reducción en el precio generalizado.

- Finalmente el tráfico **generado** sería aquel que no existía sin el proyecto y que puede ser realizado por los mismos usuarios que aumentan el número de viajes o por nuevos usuarios cuyo beneficio marginal de realizar los viajes era inferior al precio generalizado vigente *sin* proyecto.

Nuestra definición del tráfico inducido engloba al desviado y al generado. Aunque caben otras definiciones, lo importante a efectos de la evaluación económica es que se computen los ahorros de manera correcta.

El origen del tráfico desviado puede ser de otra ruta, de otra hora o modo de transporte, aunque para la evaluación la cuestión primordial es precisar cuáles son los ahorros que se producen.[63] Los ahorros de tiempo se multiplican directamente por el número de usuarios en el tráfico existente, mientras que en el desviado y en el generado hay que aplicar la regla de la mitad.

En la evaluación de una línea ferroviaria que va a electrificarse y en la que la velocidad de circulación aumentará, podemos considerar el tráfico existente en dicha línea como la base y considerar tráfico desviado el que

[62] Esto es lo que en la evaluación de carreteras se denomina el "supuesto de la matriz de viajes fija".
[63] Para las definiciones de tráfico inducido y la evidencia disponible sobre la magnitud del mismo ante mejoras en la red, véanse Mackie, P. (1996): "Induced Traffic and Economic Appraisal" *Transportation*, 23: 103-119; Abelson P.W. y D.A. Hensher (2001): "Induced Travel and User Benefits: Clarifying Definitions and Measurement for Urban Road Infrastructure", en Button, K.J. y D.A. Hensher (2001): *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*, Elsevier.

se atraiga desde la carretera, y generado el de nueva creación, aunque alternativamente podría considerarse como tráfico existente el del corredor, carretera incluida. **La cuestión esencial es conseguir unas estimaciones razonables de los ahorros de tiempo y costes, y del número de usuarios beneficiados.**

En la evaluación de proyectos de inversión en aeropuertos, tanto en nueva capacidad de pistas de aterrizaje como de edificios terminales, se ha utilizado a veces el concepto de tráfico disuadido (*deterred*) y generado. En el caso del tráfico generado no hay diferencia alguna con el que hemos utilizado anteriormente, y en el tráfico disuadido es en realidad lo que aquí hemos denominado desviado. El tráfico disuadido es el que no utilizaría el aeropuerto *sin* el proyecto, utilizando otro aeropuerto menos conveniente u otro modo de transporte. La situación *con* proyecto evita que se produzca esa pérdida de tráfico en la instalación evaluada, en beneficio del mejor sustitutivo, y por tanto es equivalente a considerar que desviamos tráfico del sustitutivo.

Evidencia empírica

La evidencia empírica para transferir valores a otros proyectos nuevos no es concluyente y la generación de tráfico depende del modo de transporte, de las condiciones específicas del corredor y de la magnitud de las mejoras introducidas por el proyecto.

A veces superar determinado umbral puede desencadenar cambios imprevisibles si atendemos al valor de las elasticidades obtenidas en situaciones en las que las mejoras fueron menos importantes.

En una revisión clásica sobre las estimaciones de tráfico inducido realizadas en el Reino Unido tanto para proyectos viarios urbanos como interurbanos, Goodwin (1996)[64] concluye que una mejora media en carreteras que reduzca el tiempo de viaje en un 20% produce un aumento del 10% del tráfico existente en el corto plazo y del 20% en el largo plazo.

En los trabajos más recientes con datos de Estados Unidos estas cifras han sido matizadas. Por ejemplo, Hansen y Huang (1997) obtuvieron una elasticidad del tráfico con respecto a la disponibilidad de nuevos carriles de entre 0,3 (corto plazo) y 0,9 (largo plazo) para las áreas metropolitanas de California. Esto implica que entre un 60-90% de la nueva capacidad viaria es ocupada por tráfico nuevo en menos de cinco años. Las estimaciones de Fulton *et al.* (2000), con datos desagregados de la costa Este produjeron valores similares para dichas elasticidades: entre 0,1 a 0,4 y entre 0,5 y 0,8 para el corto y largo plazo, respectivamente.[65]

Más recientemente, y utilizando técnicas similares, Cervero y Hansen (2002) concluyen que cada 10% de incremento en la capacidad de las carreteras de la costa Oeste producía al menos un aumento del 6% en el tráfico total, debido sobre todo a la creación de nuevas áreas residenciales en los extrarradios urbanos, lo que les lleva a sugerir que tanto la creación de nuevas infraestructuras produce aumento de tráfico como a la inversa.

En una revisión reciente, Noland y Lewison (2002)[66] analizaron los efectos de la construcción de diversas autopistas en Estados Unidos y Reino Unido durante veinte años y obtienen elasticidades del tráfico con respecto a la infraestructura de entre 0,5 (corto plazo) y 0,8 (largo plazo). Las zonas urbanas, debido a su mayor grado de congestión, suelen presentar valores medios muy superiores a los de las zonas rurales, reflejando así la existencia de una demanda latente mayor.

Sin embargo, los problemas de tráfico inducido en Estados Unidos y Europa difieren sustancialmente de las condiciones que se presentan en América Latina, ya que las condiciones económicas, el poder adquisitivo, la estructura urbana, la infraestructura vial y los aspectos culturales son sustancialmente diferentes.[67]

---

[64] Goodwin, P.B. (1996): "Empirical Evidence on Induced Traffic: a Review and Synthesis", *Transportation* 23 (1): 35-54. Algunos de sus resultados procedían de otro estudio clásico en el Reino Unido: SACTRA (1994), *Trunk Roads and the Generation of Traffic*, Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment. UKDoT, HMSO.

[65] Hansen, M. y Y. Huang (1997): "Road Supply and Traffic in California Urban Areas" *Transportation Research A* 31, 205-218. Fulton, L., D. Meszler, R. Noland, y J. Thomas, J. (2000): "A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the US mid-Atlantic Region." *Journal of Transportation and Statistics* 3: 1-14. Cervero, R. y M. Hansen (2002):"Induced Travel Demand and Induced Road Investment", *Journal of Transport Economics and Policy* 36(3): 469-90.

[66] Noland, R. y L. Lewison (2002): "A Review of the Evidence for Induced Travel and Changes in Transportation and Environmental Policy in the US and the UK," *Transportation Research D* 7(1): 1-26.

[67] Véase por ejemplo, Bento, A., Cropper, M.L., A.M. Mobarak, y K. Vinha (2003), "The Impact of Urban Spatial Structure on Travel Demand in the United States", *World Bank Group Working Paper* 2007, World Bank.

Algunos estudios muestran, por ejemplo, que si bien es cierto que a nivel mundial la propiedad de un automóvil (y consecuentemente el número de viajes realizados en transporte privado) guarda una estrecha relación con el nivel de renta, esto no siempre sucede. En México D.F. se ha constatado que sólo el desarrollo de infraestructura vial que va acompañada de crecimiento de asentamientos humanos o nuevas zonas de industria, comercio o servicios genera mayor número de kilómetros recorridos o mayor número de viajes. Sin embargo, en el caso de la duplicación de autopistas urbanas (los llamados "segundos niveles") se comprobó que la inversión realizada no generó un tráfico inducido apreciable.[68]

En el caso de Sao Paulo, el número de viajes motorizados por persona/día disminuyó al pasar de 1,53 en 1977 a 1,32 en 1987 y a 1,23 en 1997, sin embargo, la distancia recorrida por viaje se incrementó, pasando de 7,78 kilómetros por viaje en 1977 a 8,18 en 1987 y a 9,43 en 1997. Esto fue debido a que el número de viajes presenta una tendencia a la reducción al optimizar los tiempos de trabajo, con los cuales se cancelan algunos trayectos como los viajes a casa para almorzar, mientras que el aumento en el número de kilómetros recorridos se debe principalmente a la expansión o crecimiento de la mancha urbana.

En resumen, en los países en desarrollo, la variabilidad de las cifras de tráfico inducido es mucho mayor debido a las circunstancias específicas de cada proyecto, oscilando entre valores muy bajos (en zonas rurales y cuando la infraestructura no crea nuevos orígenes y/o destinos) y muy altos (incluso superiores al 50% en áreas urbanas de rápida expansión de México y Brasil en las que la congestión reaparece en menos de cinco años).

4.4. Valoración de bienes que no tienen mercado

Junto con las cuestiones relativas a la predicción de demanda (y en particular a la medición del tráfico inducido, otra de las especificidades más características de la evaluación de proyectos de transporte se refiere a **cómo deben valorarse ciertos elementos que no tienen un mercado claro de referencia** (como el tiempo, los accidentes o el impacto medioambiental) y, por tanto, no disponen de un "precio" que pueda ser utilizado en la evaluación. Veamos a continuación algunos de los procedimientos utilizados comúnmente en la práctica, así como algunas cifras de referencia.

4.4.1. El valor de los ahorros de tiempo

En la mayoría de los proyectos de transporte los ahorros de tiempo de viaje constituyen la fuente principal de beneficios sociales.[69] Consecuentemente el valor que se asigne a la unidad de tiempo es determinante en los resultados de la evaluación.[70]

Métodos de valoración

En general, para determinar **cómo valorar los ahorros de tiempo** el evaluador de un proyecto debería considerar las siguientes opciones, ordenadas por orden de prelación:

[68] Galindo, L.M., D. Heres y L. Sánchez (2006): "Tráfico Inducido en México: Contribuciones al Debate e Implicaciones de Política Pública", *Estudios Demográficos y Urbanos*, 21(1): 123-157.
[69] Hensher, D.A. (1989). *Behavioural and Resource Values of Travel Time Savings: a Bicentennial Update. Australian Road Research* 19: 223-229.
[70] Mackie, P.J., S. Jara-Díaz y A.S. Fowkes (2001). "The Value of Travel Time Savings in Evaluation", *Transportation Research E*, 37: 91-106. El lector interesado en este problema metodológico también puede consultar, entre otras, las siguientes fuentes: [1] Bickel, P., A. Burguess, A. Hunt, J. Laird, C. Lieb, G. Lindberg y T. Odgaard (2005): *HEATCO Deliverable 2* (http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/); [2] Mackie, P.J., M. Wardman, A.S. Fowkes, G. Whelan, J. Nellthorp J y I. Bates (2003): *Values of Travel Time Savings in the UK*. Report to the Department of Transport. Reino Unido.

1. Realizar **un estudio específico** para los usuarios del caso particular evaluado, basado en una metodología teóricamente sólida y contrastada empíricamente a nivel internacional.[71] Ésta es la mejor opción siempre que se disponga de recursos financieros y tiempo suficiente.

2. Cuando lo anterior no es posible, se pueden **aplicar los valores recomendados** a nivel nacional o internacional para la evaluación social de proyectos de transporte, atendiendo en lo posible a sus características particulares.[72]

3. Finalmente, si no existen tales recomendaciones, se puede intentar **transferir datos de otros estudios** o de países similares, realizando los ajustes que se consideren pertinentes. El problema de la transferencia de valores entre países puede suavizarse de varias maneras, aunque una de las opciones más utilizadas consiste en ajustar de acuerdo con los niveles de renta *per cápita* reales expresados en paridad de poder adquisitivo (PPA).

En cualquiera de las situaciones anteriores y como primer paso conviene **clasificar los distintos tipos de tiempo relevantes.** Para el caso de pasajeros y si los datos disponibles lo permiten conviene tener presente la clasificación presentada en el **Cuadro 4.5**. En cuanto a la carga debe procederse de un modo similar, distinguiendo idealmente por modo, tipo de mercancía y tamaño de los vehículos.[73]

Tras esta clasificación, y a modo de ilustración, presentamos algunos valores obtenidos en diversos estudios para América Latina, Europa y Estados Unidos. La evidencia disponible para América Latina se presenta en el **Cuadro 4.6**. Se trata de valores recogidos de diversos estudios, en ningún caso de valores recomendados a nivel nacional. Lo primero que se observa es la escasez de datos. No existen valores disponibles para todos los países y el nivel de desagregación es mínimo. Además las aproximaciones son distintas, en ocasiones se hace referencia al salario medio y en otras a valores concretos en términos de dólares por hora.

Cuadro 4.5. Clasificación de tiempos de viaje: transporte de pasajeros

Según el modo/medio de viaje	• Tiempo de viaje en automóvil • Tiempo de viaje en autobús • Tiempo de viaje en ferrocarril • Tiempo de viaje en avión • Tiempo de viaje en barco
Según el propósito del viaje	• Tiempo de viaje por motivo de trabajo • Tiempo de viaje *commuting* • Tiempo de viaje de ocio
Según la distancia recorrida	• Tiempo en trayectos urbanos o locales • Tiempo en trayectos interurbanos o internacionales
Según las condiciones del viaje	• Tiempo de viaje esperado • Retrasos • Tiempo en el vehículo • Tiempo caminando • Tiempo en espera

[71] En el proyecto HEATCO se recomienda la utilización de diferentes metodologías, haciendo una recomendación mínima y otra más compleja según el tipo de viaje. Así por ejemplo, para los pasajeros que viajan por motivos de trabajo se recomienda como aproximación mínima la de ahorro de costes, mientras que para los viajes de ocio y *commuting* se considera mejor opción la de disposiciones a pagar; finalmente para la carga la opción mínima es la de ahorro de costes y la de mayor sofisticación la de disposiciones a pagar. (Para más detalles, véase Bickel *et al*. (2006). *HEATCO Deliverable 5*, http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/)

[72] Entre otros países, se pueden consultar los valores correspondientes al Reino Unido, los Estados Unidos, Holanda y los países escandinavos, que ya disponen de este tipo de estudios nacionales. (Wardman, M. y W.G. Waters II (2001): "Advances in the Valuation of Travel Time Savings". *Transportation Research E* 37: 85-90).

[73] Nellthorp, J., T. Sansom, P. Bickel, C. Doll y G. Lindberg (2001): *Valuation Conventions* UNITE. ITS, University of Leeds.

Cuadro 4.6. Estimaciones del valor del tiempo en América Latina

País	Automóvil (tiempo en el vehículo)		Transporte público (tiempo en el vehículo)	Tiempo de espera o caminando		Año de referencia
	Trabajo	Ocio		Trabajo	Ocio	
Argentina	6-9 $/h	-	2-3 $/h	-		1996
Brasil	Salario	33% del Salario	0,66 $/h	-		1996
Chile	Salario	33%-46% del Salario	-	-		
Ecuador	36% del Salario	0	1$/h	-		1996
Venezuela	Salario	25%-33% del Salario	-	Doble de los valores para tiempo en el vehículo	Doble de los valores para tiempo en el vehículo	1996

Fuente: Ortúzar (1999).[74]

Finalmente, el **Cuadro 4.7** muestra los resultados que se obtuvieron en uno de los pocos estudios realizados sobre el valor del tiempo en Chile basado en la metodología de preferencias declaradas y reveladas, y que establece distintos valores de tiempo como porcentajes del salario medio.

Cuadro 4.7. Valor del tiempo como porcentaje del salario medio (Chile)

Tipo de tiempo	Transporte Urbano	Transporte Interurbano	Transporte Aéreo
Tiempo en el vehículo	50%	90%	180%
Tiempo caminando	120%	–	–
Tiempo en espera	270%	–	–

Fuente: Ortúzar (1994).[75]

Como ya fue indicado, para suplir la falta de referencias nacionales resulta posible recurrir a la transferencia de valores internacionales. Tomando como fuente el caso de Europa, los resultados más completos y recientes se encuentran en los ya mencionados proyectos HEATCO y UNITE, donde se calcula el valor de los ahorros de tiempo a partir de diversos estudios disponibles dentro de la Unión Europea.

A modo de ilustración, tanto en el **Cuadro 4.8** como en el **Cuadro 4.9** se presentan los valores medios para Holanda, Suecia y el Reino Unido, desglosándose por modo y motivo de viaje para el transporte de pasajeros, mientras que para transporte de carga se desglosa por modo y tipo de vehículo o carga.

[74] Ortúzar, J. de D (1999). "South America Value of Time Research", en Gunn, H. (ed.). *The Value of Time*. PTRC Education and Research Services Ltd. Londres.
[75] Ortúzar, J. de D. (1994): *Valor del Tiempo para Evaluación de Proyectos*. Informe ejecutivo a FONDECYT, Departamento de Ingeniería del Transporte. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago.

Cuadro 4.8. Valor del tiempo en el transporte de pasajeros (Europa)

Modo	Motivo	Valor estimado por persona/ hora (en euros de 1998)	Unidad de medida
Automóvil/moto			
	Trabajo	21	c.f.
	Commuting/privado	6	p.m.
	Ocio/vacaciones	4	p.m.
Autobús interurbano			
	Trabajo	21	c.f.
	Commuting/privado	6	p.m.
	Ocio/vacaciones	4	p.m.
Autobús urbano/tranvía			
	Trabajo	21	c.f.
	Commuting/privado	6	p.m.
	Ocio/vacaciones	3,2	p.m.
Ferrocarril interurbano			
	Trabajo	21	c.f.
	Commuting/privado	6,4	p.m.
	Ocio/vacaciones	4,7	p.m.
Transporte aéreo			
	Trabajo	28,5	c.f.
	Commuting/privado	10	p.m.
	Ocio/vacaciones	10	p.m.

Nota: c.f.: coste de factores; p.m.: precios de mercado
Fuente: UNITE

Finalmente, el **Cuadro 4.10** muestra las recomendaciones del Departamento de Transportes de los Estados Unidos sobre este tema. Los valores se presentan como porcentaje del salario medio, y se aplican a los tiempos en el interior del vehículo. Los tiempos de acceso y espera se recomienda que sean valorados de acuerdo con el 100% del salario.

Discusión

Con relación a las estimaciones anteriores, las siguientes consideraciones adicionales son útiles en la práctica de la evaluación:

1. **Crecimiento de los valores a lo largo del tiempo.** Lo más frecuente es asumir que crecen al mismo ritmo que la renta real *per cápita*, es decir, **se supone una elasticidad-renta unitaria.** Ésta es, por ejemplo, la sugerencia del proyecto UNITE. Otros estudios consideran sin embargo que la aplicación de una elasticidad del 0,8 para los valores de tiempo de los viajes que no se realizan por motivo de trabajo es más recomendable (Mackie *et al.*, 2003, *op. cit.*). La recomendación del proyecto HEATCO es la de utilizar una elasticidad de 0,7 para todo tipo de viajes y realizar un análisis de sensibilidad mediante la aplicación de una elasticidad unitaria.

Cuadro 4.9. Valor del tiempo en el transporte de mercancías (Europa)

Modo	Tipo de vehículo	Valor estimado (en euros de 1998)	Unidad de medida
Carretera			
	Ligeros (vehículo/h)	40	c.f.
	Pesados (vehículo/h)	43	c.f.
Ferrocarril			
	Carga completa (por h)	725	c.f.
	Carga del vagón (por h)	30	c.f.
	Media por tonelada (por h)	0,76	c.f.
Fluvial			
	Carga completa (por h)	200	c.f.
	Media por tonelada (por h)	0,18	c.f.
Marítimo			
	Carga completa (por h)	200	c.f.
	Media por tonelada (por h)	0,18	c.f.
Aéreo			
	Media por tonelada (por h)	4	c.f.

Nota: c.f.: coste de factores
Fuente: UNITE

Cuadro 4.10. Valor del tiempo en EE.UU. (como porcentaje del salario)

	Modos de transporte terrestre	Transporte aéreo	Conductores de camiones
Viajes locales			
Personal	50% (35-60%)	-	
Negocios	100% (80-120%)	-	100%
Viajes interurbanos			
Personal	70% (60-90%)	70% (60-90%)	
Negocios	100% (80-120%)	100% (80-120)	100%

Nota: Los valores entre paréntesis indican rangos plausibles para análisis de sensibilidad.
Fuente: USDOT (1997). [76]

[76] USDOT (1997): *Departmental Guidance on the Evaluation of Travel Time in Economic Analysis*. (http://www.dot.gov/)

2. **Distintos tiempos de viaje atendiendo a las condiciones del mismo.** Tanto HEATCO como Mackie *et al*. (2003) recomiendan la utilización de valores de tiempo de espera y caminando superiores al valor del tiempo en el interior del vehículo incrementados en un factor de entre 2,5 y 2 respectivamente, mientras que el Departamento de Transporte de EE.UU. recomienda valorar dichos tiempos de acuerdo con los niveles de salario. Para los retrasos (congestión) la recomendación de UNITE es multiplicar el tiempo de viaje en el vehículo por un factor de 1,5. Para los tiempos de trasbordo la recomendación de HEATCO es multiplicar asimismo tiempos de viaje en un factor de 2,5.

3. **Pequeños ahorros de tiempo.** Finalmente, la práctica más extendida en cuanto a la valoración de pequeños ahorros de tiempo consiste en suponer que el valor del tiempo crece de manera lineal con el tamaño de los ahorros, por lo que suelen aplicarse los mismos valores utilizados para valorar ahorros de mayor magnitud.

4.4.2. El valor de los accidentes evitados

Al igual que en el caso anterior, la valoración de accidentes evitados como consecuencia de la realización de un proyecto de transporte requiere comenzar con una clasificación previa de los diferentes componentes de coste. La categorización más frecuente se presenta en el **Cuadro 4.11**.

De todos los tipos de coste el de mayor relevancia por su peso sobre el total es el **coste del riesgo**, también denominado valor de una vida estadística (VOSL). La evidencia recogida en el proyecto UNITE señala un peso para este componente que oscila entre el 65% y el 85% sobre el total de costes de accidentes.

Valorando el coste del riesgo

Mientras que en el caso del resto de costes existe información, **el componente de coste del riesgo es un bien que no tiene mercado.** Para valorarlo los estudios más recientes recomiendan aplicar la aproximación denominada "disposición a pagar por la reducción de riesgo" (WTP: *willingness to pay*) o "disposición a aceptar compensaciones por el incremento de riesgo" (WTA: *willingness to accept*). De este modo se obtiene indirectamente una estimación del valor de una vida estadística (VOSL),[77] permitiendo introducir la valoración de este componente en los procesos de evaluación de proyectos que implican cambios en el número y/o gravedad de los accidentes.

Dado que la disposición a pagar (o a aceptar) varía entre individuos según sus niveles de renta, los valores recomendables para países con distintos niveles de renta *per cápita*, serán asimismo diferentes.

Cuadro 4.11. Distintos componentes del coste de los accidentes

Tipo de coste	Componentes
Daños materiales	Vehiculos, infraestructuras y bienes dañados...
Costes adimistrativos	Gastos judiciales, policiales y de servicios públicos...
Costes médicos	Primeros auxilios y traslados, gastos hospitalarios, rehabilitación.
Pérdidas de producción	Gastos de reposición y sustitucion, pérdida de producción actual y futura.
Costes del riesgo (VOSL) (*Value of Statistical Life*)	Riesgo propio, dolor y sufrimiento de amigos y familiares.

[77] En ningún caso se trata de valorar la vida humana. Aunque los economistas se refieran al "valor de la vida", se trata simplemente de la disposición a pagar por reducir el riesgo de muerte.

Cuadro 4.12. Valores de una vida estadística (VOSL) en Europa

País	Valor VOSL recomendado	País	Valor VOSL recomendado
Austria	1,68	Luxemburgo	2,64
Bélgica	1,67	Holanda	1,70
Dinamarca	1,79	Noruega	1,93
Finlandia	1,54	Portugal	1,12
Francia	1,49	España	1,21
Alemania	1,62	Suecia (*)	1,53
Grecia	1,00	Suiza (*)	1,91
Irlanda	1,63	Reino Unido (*)	1,52
Italia	1,51	Estonia	0,65
Hungría	0,74	PROMEDIO UE	1,50

Fuente: UNITE. Datos originales en millones euros de 1998. (*Tipos de cambio a 24/11/2000).

A modo de ilustración, como muestra el **Cuadro 4.12**, en el proyecto UNITE se recomienda como valor medio **de una vida estadística Europa 1,5 millones de euros por persona. Para los heridos graves y leves se recomienda aplicar un 13% y un 1% del valor recomendado para una vida estadística.**

Otra referencia útil es el trabajo de Miller (2000).[78] En su estudio se revisa en profundidad la literatura internacional disponible sobre los valores estadísticos de la vida. No obstante, y teniendo en cuenta que los valores recogidos por este autor fueron estimados en distintos sectores de la economía y distintas condiciones de riesgo, el problema es dilucidar hasta qué punto estos valores pueden transferirse al sector transportes, ya que cada día existe más evidencia de que estos valores son específicos para cada contexto e incluso modo de transporte.

Sin embargo el trabajo de Miller es una de las pocas referencias existentes en la literatura que presenta estimaciones del VOSL para países de América Latina, realizadas a partir de transferencias de los valores del resto de países.[79]

El **Cuadro 4.13** presenta los resultados de Miller (2000) para países donde ya existen valores disponibles, mientras que el **Cuadro 4.14** muestra las estimaciones que realiza este autor después de transferir valores basándose en la aplicación de una función de transferencia. Nótese que en el **Cuadro 4.14**, el límite inferior de los valores obtenidos equivale aproximadamente a multiplicar por 120 la renta *per capita*, y que este resultado se cumple sistemáticamente para todos los países incluidos.[80]

Tanto los valores medios como los valores para cada país pueden transferirse si se estima necesario. De nuevo la mejor opción será aplicar en la evaluación los valores nacionales si se encuentran disponibles y si para su obtención se hubiese utilizado la aproximación de disposiciones a pagar en estudios bien diseñados. En cuanto a la variación de valores a lo largo del tiempo, el proyecto HEATCO recomienda que los valores cambien con la renta *per cápita* utilizando una elasticidad unitaria, aunque se recomienda comprobar la sensibilidad de los resultados con una elasticidad de 0,7.

[78] Miller, T.R. (2000): "Variations between Countries in Values of Statistical Life". *Journal of Transport Economics and Policy* 34(2): 169-188.

[79] La función de transferencia usada por Miller (2000) es del tipo: $\ln(VOSL) = a + b \ln(Y) + cZ$, en donde Y representa una medida de la renta y Z es un vector de variables explicativas. Con los estudios disponibles se estiman los parámetros a, b, c. Finalmente con diversos modelos de regresión alternativos se estima un rango de valores para una vida estadística en aquellos países en los que esta cifra no está disponible.

[80] Nótese asimismo que el estudio de Miller usa una muestra de países con niveles de renta *per cápita* elevados, por lo que el propio autor advierte que tratar de transferir dichos valores a países con niveles de renta inferiores podría no ser adecuado.

Cuadro 4.13. VOSL medio por países con datos disponibles

País	Número de estudios	Valor medio (miles $ de 1995)
Australia	1	2.126
Austria	2	3.253
Canadá	5	3.518
Dinamarca	1	3.764
Francia	1	3.435
Japón	1	8.280
Nueva Zelanda	3	1.625
Corea del Sur	2	620
Suecia	4	3.106
Suiza	1	7.525
Reino Unido	7	2.281
Estados Unidos	39	3.472

Fuente: Miller (2000).

Cuadro 4.14. VOSL: estimaciones para América Latina

País	Rango de valores		Mejor estimación	PIB/capita
	Límite inferior	Límite superior		
Argentina	1.000	1.500	1.200	8,720
Brasil	500	900	680	4,820
Chile	600	900	650	4,598
México	500	800	500	3,529
Perú	300	800	360	2,490
Uruguay	700	1.100	820	5,857
Venezuela	400	800	520	3,678
Media Mundial	630	900	650	4,608
Estados Unidos	3.300	4.500	3.670	28,206
Unión Europea	2.500	3.600	2.730	20,714

Fuente: Miller (2000). Los valores están expresados en miles de dólares de 1995.

4.4.3. La valoración de los costes medioambientales

La mayor parte de los proyectos de transporte tienen consecuencias importantes sobre el medio ambiente. El deterioro de la calidad del aire, las emisiones de efecto invernadero, el ruido o su impacto sobre la biodiversidad son algunas de las externalidades negativas asociadas al transporte.[81]

[81] En torno al 90% del total de las emisiones de plomo, el 50% de las de óxidos de nitrógeno (NOx) y el 30% de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) pueden atribuirse a este sector.

Al mismo tiempo, la demanda de movilidad continúa creciendo a tasas similares o mayores que el PIB. En particular en algunos modos como el transporte aéreo la demanda crece mucho más rápidamente, duplicando o triplicando las tasas de crecimiento de la producción agregada. Algo similar sucede también con el transporte de mercancías.[82]

El dilema que se plantea es tratar de conciliar las necesidades de la demanda con el respeto del medioambiente y su conservación para el futuro. Se trata de asegurase de que las generaciones futuras tengan al menos las mismas oportunidades económicas potenciales de alcanzar un mayor bienestar que las generaciones actuales.[83]

En la evaluación económica de proyectos el método más habitual para el tratamiento de las externalidades negativas es el de añadirlas a los costes del proyecto sólo si es posible y razonable cuantificarlas. Cuando esto no es factible, debe adjuntarse en el informe de evaluación una descripción cualitativa de los impactos no cuantificados.

Clasificación y valoración

El **Cuadro 4.15** muestra una posible clasificación de costes medioambientales (UNITE) y presenta los principales impactos. Conviene destacar que las emisiones de las actividades de transporte no sólo ocurren como resultado directo de la provisión de servicios, también surgen en los procesos de producción de vehículos, combustible e infraestructuras.[84]

En esta ocasión se trata de "bienes" (males, en este caso) que no se intercambian en mercados y que por tanto carecen de precios explícitos, por lo que resulta necesario primero, su cuantificación, y segundo, su valoración. La cuantificación de estos costes es relativamente sencilla cuando se compara con el problema de valoración. **La medición de emisiones contaminantes y su transposición para el total de la actividad es fundamentalmente un problema técnico.**

Cuadro 4.15. Costes medioambientales en transporte y sus impactos

Tipo de daño	Posibiles impactos
Contaminación del aire	• Salud humana • Daño medioambiental • Daño en estructura edificaciones
Calentamiento global	• Cambio climático • Impacto sobre la agricultura • Impacto sobre el uso de la energía • Impacto sobre las reservas de agua y su gestión
Ruido	• Salud humana • Molestias
Naturaleza y paisaje	• Pérdidas de hábitat • Deterioro de la biodiversidad • Cambio del paisaje
Contaminación de tierra y agua	• Deterioro de la tierra y el agua
Riesgo nuclear asociado a la producción de energia	• Salud humana • Daño mediambiental sobre grandes áreas
Visibilidad, vibración y otros efectos	• Salud humana • Daño medioambiental • Daño en estructura edificaciones

[82] Rothengatter, W. (2003): "Environmental Concepts: Physical and Economic", en Hensher D. y K. Button (eds.): *Handbook of Transport and the Environment*, Handbooks in Transport, 4. Elsevier. Amsterdam.
[83] Pearce, D. and Barbier E. (2000). *Blueprint for a Sustainable Economy*. Earthscan. London.
[84] Véase Fiedrich, R. and Bickel, P. (2001): *Environmental External Costs of Transport*. Springer.

La valoración monetaria de emisiones, al igual que sucedía con los valores de tiempo o el valor de una vida estadística, puede obtenerse aplicando distintas opciones metodológicas que tampoco están exentas de controversia. Además la **metodología disponible no se encuentra igual de avanzada para cada tipo de costes.**

Por ejemplo, el impacto que un determinado proyecto pueda tener sobre el paisaje o sobre el grado de contaminación de las aguas subterráneas dependerá de las características concretas del proyecto. Es cierto que es posible entrevistar a los afectados y estudiar su disposición a pagar para evitar el daño o a ser compensados para aceptar el mismo, pero además de las dificultades de obtener valores fiables, los que se obtengan serán específicos del caso.

Actualmente se conocen mejor los impactos y los valores monetarios asociados a la contaminación del aire, el calentamiento global y el ruido. Por el contrario el número de estudios que analizan el resto de costes medioambientales es bastante menor y casi siempre específicos para proyectos particulares.

La investigación referida a la cuantificación y valoración monetaria del impacto de la contaminación del aire, el calentamiento global y el ruido recibe continuamente nuevas aportaciones. Uno de los métodos más utilizados (véase Fiedrich y Bickel, 2001, *op. cit.*) es el conocido como *Impact Pathway Approach*, que permite identificar tanto el aspecto físico referido a la relación entre las actividades de transporte y su impacto sobre el medio ambiente, como el aspecto económico que vincula dichos impactos con sus valores monetarios.

Este método permite identificar valores generales y por tanto más fácilmente transferibles. Como ejemplo, el **Cuadro 4.16** muestra los valores obtenidos para Alemania y Suiza de acuerdo con el proyecto UNITE. Se trata de valores en términos medios (por vehículo-km) para los distintos modos de transporte que se obtuvieron en ambos países. Pueden ser una referencia útil, ya que se trata de los pocos estudios disponibles que sistematizan valores de costes medioambientales en términos medios para todos los modos de transporte.

Finalmente, el **Cuadro 4.17** reporta algunos valores de referencia extraídos del proyecto HEATCO con el fin de ilustrar el impacto por tonelada de contaminante emitida en el caso del transporte por carretera.[85]

[85] Para la discusión de algunos casos concretos véase Ortúzar, J.D. y L.I. Rizzi (2003): "Valuation Case Studies", en Hensher D. y K. Button (eds.): *Handbook of Transport and the Environment*, Handbooks in Transport ,4. Elsevier.

Cuadro 4.16. Costes medioambientales del transporte: Alemania y Suiza (1998)

ALEMANIA	Carreteras (€/vehículo-km)					Ferrocarril (€/tren-km)		Metro y tranvía (€/vehículo-km)		Aviación (€/movimiento)
	Motos	Automóviles	Autobuses	Ligeros	Pesados	Pasajeros	Carga	Metro	Tranvías y trolebuses	
COSTES MEDIOAMBIENTALES	0,0348	0,0172	0,1552	0,0767	0,1264	1,334	2,251	0,06446	0,08677	370,42
Contaminación	0,0054	0,0077	0,0964	0,0161	0.0718	0,256	0,203	0,03028	0,04076	68,54
del aire	0,0022	0,0049	0,0180	0,0075	0,0196	0,156	0,207	0,03418	0,04601	183,90
Calentamiento global	0,0272	0,0046	0,0408	0,0531	0,0350	0,922	1,841	-	-	117,98
Ruido										

SUIZA	Carreteras (€/vehículo-km)					Ferrocarril (€/tren-km)		Transporte público (€/vehículo-km)			Aviación (€/movimiento)
	Motos	Automóviles	Autobuses	Ligeros	Pesados	Pasajeros	Carga	Regional	Urbano	Total no sobre raíles	
COSTES MEDIOAMBIENTALES	0,062	0,017	0,201	0,025	0,148	0,39	0,43	0,19	0,14	0,17	125,34
Contaminación	0,005	0,006	0,121	0,012	0,074	0,02	0,06	0,14	0,14	0,14	39,50
del aire	0,002	0,005	0,025	0,007	0,018	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	25,34
Calentamiento global	0,055	0,006	0,055	0,006	0,055	0,37	0,37	-	0,07	0,04	60,50
Ruido											

Fuente: UNITE.

Cuadro 4.17. Coste de las emisiones del transporte por carretera

Contaminante emitido	NOx	NMVOC	SO2	PM2.5	PM2.5
	Medioambiente local (*)			Urbano	Fuera de áreas construidas
Austria	4.300	600	3.900	430.000	72.000
Bélgica	2.700	1.100	5.400	440.000	95.000
Chipre (**)	500	1.100	500	260.000	22.000
República Checa	3.200	1.100	4.100	270.000	67.000
Dinamarca	1.800	800	1.900	400.000	47.000
Estonia	1.400	500	1.200	160.000	27.000
Finlandia	900	200	600	360.000	30.000
Francia	4.600	800	4.300	410.000	82.000
Alemania	3.100	1.100	4.500	400.000	78.000
Grecia	2.200	600	1.400	270.000	38.000
Hungría	5.000	800	4.100	230.000	59.000
Irlanda	2.000	400	1.600	440.000	46.000
Italia	3.200	1.600	3.500	390.000	71.000
Letonia	1.800	500	1.400	140.000	26.000
Lituania	2.600	500	1.800	160.000	32.000
Luxemburgo	4.800	1.400	4.900	730.000	104.000
Malta	500	1.100	500	240.000	20.000
Holanda	2.600	1.000	5.000	440.000	86.000
Polonia	3.000	800	3.500	190.000	57.000
Portugal	2.800	1.000	1.900	270.000	40.000
Eslovaquia	4.600	1.100	3.800	200.000	54.000
Eslovenia	4.400	700	4.000	280.000	58.000
España	2.700	500	2.100	320.000	44.000
Suecia	1.300	300	1.000	370.000	36.000
Suiza	4.500	600	3.900	460.000	76.000
Reino Unido	1.600	700	2.900	410.000	64.000

Fuente: HEATCO. Datos en euros (2002) por tonelada de contaminante (a coste de factores)
Categorías de coste incluidas: salud humana, pérdida de cultivos y daños materiales.
(*) Los valores son aplicables a todas las emisiones a nivel de tierra.
(**) Valores estimados fuera del dominio de modelización.
Nota: NOx: Óxidos de Nitrógeno. NMVOC: Compuestos orgánicos volátiles no metánicos. SO2: Dióxido de azufre. PM2.5: Material particualdo fino.

4.5. El papel de la intermodalidad

Junto con las cuestiones relativas a la demanda y los costes discutidas hasta ahora en este capítulo, la intermodalidad, es decir, la existencia de múltiples modos de transporte suele ser un aspecto específico recurrente en el ACB de proyectos de transporte, por dos razones que no tienen por qué darse conjuntamente. Por un lado, hay modos de transporte complementarios y sustitutivos en el caso base y el proyecto puede introducir modificaciones que cambian la distribución modal de los tráficos. En segundo lugar, las inversiones en infraestructuras de transporte introducen conexiones intermodales que favorecen la complementariedad entre modos modificando la distribución modal.

4.5.1. El papel de la competencia intermodal

En el primero de los casos anteriores interesa conocer la naturaleza de los tráficos actuales frente a la variación de los mismos una vez se ejecute el proyecto. **Se trata de evaluar qué parte del tráfico desviado (o atraído) procede de otros modos competitivos.** Como vimos en la **Sección 4.3**, la existencia de elasticidades que vinculan cambios en la capacidad disponible de una determinada infraestructura con variación en los tráficos inducidos, podría servir de base para hacer una primera aproximación a los cambios que se esperan.

Sin embargo, idealmente se requiere de un análisis específico de la demanda futura, desglosando por tipo de tráfico. La aplicación de modelos desagregados de preferencias declaradas y reveladas es probablemente la mejor opción.

Ejemplo: el proyecto TRANSMILENIO

A modo de ejemplo, una ilustración del papel de la competencia intermodal con relación a las inversiones en transporte se encuentra en el proyecto Transmilenio.[86] Este proyecto consistió en la implantación de un sistema de transporte urbano masivo en la ciudad de Bogotá servido por autobuses de alta ocupación circulando por carriles exclusivos. Como además los pasajeros abonan su tarifa antes de acceder a los autobuses desde plataformas exclusivas, de manera muy similar a la operación de trenes metropolitanos, dicho sistema permitía incrementar de manera sustancial la velocidad comercial con respecto al transporte público convencional.

Con anterioridad a la implantación de este sistema, los habitantes de Bogotá disponían de cinco alternativas para satisfacer sus necesidades de transportes: los servicios convencionales de autobús,[87] el transporte en automóvil privado, el transporte público en taxi, el uso de la bicicleta y el transporte a pie. El resultado global era un sistema de transporte hasta cierto punto bastante caótico, de baja calidad, altas tasas de accidentalidad, tiempos de viaje excesivos e importantes niveles de congestión.

La primera fase del proyecto Transmilenio se inició a finales del año 2000 y pronto alcanzó niveles de éxito muy aceptables. Después de tres años la demanda media diaria del nuevo sistema superaba los 700.000 pasajeros diarios. Con respecto a los impactos intermodales, estos fueron también muy notables, aunque diferentes según cada modo:

1. **Vehículo privado**. Aunque los usuarios del vehículo privado observaron inicialmente que disponían de menor capacidad de vía por la que circular (lo que en principio podría generar mayores niveles de congestión), observaron posteriormente que el proyecto podría aportarles ocasionalmente una externalidad positiva: el uso de autobuses más eficientes y de mayor capacidad se tradujo en una reducción sustancial del número de autobuses convencionales que compartían la vía con los vehículos privados, especialmente en horas punta, por lo que la velocidad media de estos también aumentó. Estos efectos hicieron que la distribución modal público-privado no se modificase sustancialmente, estimándose que únicamente un 5% de los viajes realizados en este nuevo sistema de transporte masivo pueden proceder del transporte privado.

[86] The World Bank (2004): *A Project for an Integrated Mass Transit System in Bogotá*. Report No. 28926-CO. Washington DC.
[87] Este es el modo de transporte dominante, ya que tres de cada cuatro personas son usuarios del transporte público. Se trata de personas de estratos de renta bajos, para los que la opción de transporte privado o en taxi no es asequible.

2. **Taxis**. En cuanto al transporte en taxi podría ocurrir algo similar a lo que ocurre con el vehículo privado. Si el transporte en autobús resulta más atractivo, parte de los usuarios de este servicio podrían optar ahora por el autobús, siempre y cuando no se produzca una mejora sustancial en el resto de la vía que evite o atenúe dicho desvío.

3. **Bicicletas**. El sistema de Transmilenio ha sido complementado con la construcción de una extensa red de ciclovías (300 kilómetros de carriles exclusivos para bicicletas) con niveles de uso en torno a los 300.000 ciclistas diarios. Anteriormente los desplazamientos en este medio eran de menor importancia. Este desarrollo puede dar lugar a: (i) viajes de nueva generación que ahora se realizan en bicicleta;[88] (ii) viajes de acceso o salida del sistema Transmilenio, y (iii) viajes desviados desde el sistema anterior de autobuses.

4. **Transporte a pie**. El sistema Transmilenio también impulsó el desarrollo de espacios urbanos y la recuperación de los mismos, así como el desplazamiento a pié en determinadas áreas. Sucede en este caso algo similar a la opción de bicicletas. Puede haber viajes de nueva generación, viajes que complementan el sistema o también tráficos desviados.

La realización de encuestas debería facilitar la identificación y estimación de los distintos flujos de tráfico en cada caso.

4.5.2. Redes de transporte y conexiones intermodales

El papel de las conexiones intermodales en la evaluación también puede ilustrarse con el mismo ejemplo anterior. No sólo puede ocurrir que los modos se encuentren compitiendo, sino actuando de manera complementaria.

1. **Conexión con ciclovías**. Ya se ha comentado que en el sistema Transmilenio se desarrolló un red de ciclovías que en muchos casos actuaron de alimentadoras del sistema. En este sentido la infraestructura básica debe considerar las inversiones necesarias para depósito y vigilancia de las bicicletas. Hay varias opciones disponibles, aunque lo más frecuente es distinguir entre depósitos de corta y larga duración, siendo los segundos los que requieren de un mayor nivel de inversión.

2. **Conexión con rutas y accesos peatonales.** De nuevo la inversión ha de incorporar estas conexiones.

3. **Conexiones con el transporte público interurbano y otras rutas urbanas.** En general los sistemas de transporte rápido de autobuses se organizan en rutas troncales y alimentadoras. Las rutas alimentadoras conectan con las troncales a través de intercambiadores. Del mismo modo encontramos intercambiadores en las rutas troncales para el acceso y salida de pasajeros que trasbordan entre rutas interurbanas y las troncales urbanas.

4. **Conexión con otras infraestructuras** (por ejemplo, aeropuertos). Asimismo puede requerirse de accesos o intercambiadores específicos para otros modos e infraestructuras de transporte.

El concepto de intermodalidad se utiliza generalmente para describir la situación de complementariedad entre dos o más modos de transporte. El caso de las conexiones ferroviarias y los puertos es un ejemplo. Más allá del concepto están los costes y beneficios asociados a su puesta en marcha. La intermodalidad es otra opción de organizar el transporte de personas y mercancías y por tanto sujeta a evaluación igual que otro proyecto.

La construcción de conexiones ferroviarias con los puertos o los aeropuertos, o la decisión de la autoridad municipal de reservar carriles a los autobuses produce beneficios sociales que deben cuantificarse y compararse con los costes de inversión y sus efectos en los costes de modos de transporte complementarios y sustitutivos.

---

[88] La bicicleta se utiliza principalmente en trayectos cortos, y sobre todo cuando se dan las condiciones de seguridad de tráfico y ciudadana apropiadas.

Finalmente, igual que ocurre con otros proyectos de transporte, la intermodalidad requiere de contratos y de incentivos para asegurar que la participación privada se traduzca en un mayor realismo en el diseño de proyectos y que los beneficios *ex ante* se materialicen, evitándose la construcción de "elefantes blancos".

4.6. Congestión y limitación de capacidad

Toda infraestructura de transporte tiene una capacidad máxima, en términos del volumen de tráfico, viajeros o mercancía que pueden absorber por unidad de tiempo. Como ya fue explicado anteriormente, decimos que **una infraestructura se congestiona cuando el flujo de viajeros o mercancías que se procesan se ralentiza por la interacción de unos usuarios con otros al compartir los mismos espacios; o también, en el caso de sistemas con autorización de entrada previa, por factores exógenos como el mal tiempo, o endógenos como cuando la acción del gestor aeroportuario o de una compañía aérea imponen retrasos a las demás.**

Esta ralentización se produce de manera paulatina, aumentando más rápidamente cuando se aproxima el nivel de capacidad disponible; como consecuencia, se incrementan los tiempos de viaje para los usuarios, los costes de operación de los vehículos, así como los costes medioambientales.

En esta sección se aborda el problema de predecir los tiempos de viaje cuando la capacidad existente no permite atender la demanda sin que el tiempo de viaje aumente. En este sentido es útil identificar alguna relación de causalidad que vincule los elementos espacio-vehículo-tiempo, así como discutir si se trata de un problema similar en todas las infraestructuras de transporte o si por el contrario existen especificidades que deben considerarse. A continuación se plantean las características principales de este fenómeno para carreteras y el resto de infraestructuras de transporte. En este último caso se pone un mayor énfasis en el análisis de la congestión en aeropuertos.

4.6.1. La congestión en el transporte por carretera

En el transporte por carretera la naturaleza del problema de la congestión ha sido estudiada de manera intensiva, llegándose al establecimiento de las denominadas **ecuaciones velocidad-flujo**, que son específicas para cada tipo de carretera según las características de las mismas (por ejemplo, número de carriles, normativa sobre velocidades máximas, señalización, etc.) A título ilustrativo podemos reproducir algunas de las ecuaciones usadas por el Departamento de Transportes del Reino Unido.[89]

En el manual correspondiente se estiman las ecuaciones velocidad-flujo de hasta veinte tipos distintos de carreteras. Dicha clasificación distingue, en primer lugar, entre carreteras rurales, urbanas, suburbanas y autopistas, y como segundo criterio de clasificación se atiende al número de carriles y vías por sentido.

[89] The COBA Manual (2002). Department for Transport. Reino Unido.

Así por ejemplo, para carreteras y autopistas, se parte de las variables que se detallan en el cuadro siguiente.

Cuadro 4.18. Variables usadas en la definición de ecuaciones velocidad-flujo

Variable	Descripción de variable	Valores típicos	
		Mínimo	Máximo
BEND	Curvatura; cambio total de dirección (grados/Km)	0	60
HILL	Suma de tramos ascendentes y descendentes por unidad de distancia (m/Km)	0	45
HR	Suma de tramos ascendentes por unidad de distancia en carreteras de un solo sentido (m/Km)	0	45
HF	Suma de tramos descendentes por unidad de distancia en carreteras de un solo sentido (m/Km)	0	45
PHV	Porcentaje de vehículos pesados	2	30
V_L ,V_H	Velocidad de vehículos ligeros (L) y pesados (H)	45	Límite de velocidad
S_L ,S_H	Pendiente velocidad/flujo para vehículos ligeros (L) y pesados (H) (reducción de Km/h por cada 1000 unidades de incremento en Q)	0	55
Q	Flujo, todos los vehículos, un carril o dos carriles (vehículos/hora/carril)	0	2300
Q_B	Punto de ruptura: valor de Q al que la pendiente velocidad/flujo para vehículos ligeros cambia (vehículos/hora/carril)	1080	1200
V_B	Velocidad de vehículos al flujo Q_B (Km/h)	80	105
Q_C	Capacidad "bandera": máximo valor realista de Q (vehículos/hora/carril). Cuando se alcanza este valor se identifican los tramos con sobrecarga.	1040	2250

Fuente: COBA Manual (2002).

Y de este modo se estiman las siguientes ecuaciones de velocidad:

Cuadro 4.19. Ecuaciones velocidad-flujo en el Reino Unido

Tipo de vehículo y flujo		Predicción de velocidad (Km/h)
Vehículos ligeros	$Q < Q_B$	$V_L = K_L - 0{,}1BEND - 0{,}14HILL$ (sólo tramos de dos sentidos) $-0{,}28H_R$ (sólo tramos de un sentido) $-S_L Q$ Donde K_L es: 108 para carreteras de doble sentido y dos carriles 115 para carreteras de doble sentido y tres carriles 111 para autopistas de doble sentido y dos carriles 118 para autopistas de doble sentido y tres carriles 118 para autopistas de doble sentido y cuatro carriles Y S_L es 6 Km/h por cada 1000 vehículos
	Q >QB	$V_L = V_B - \frac{33(Q - Q_B)}{1000}$
Vehículos pesados	Todo tipo de flujos	$V_H = K_H - 0{,}1BEND - 0{,}25HILL$ (sólo tramos de dos sentidos) $-0{,}5H_R$ (sólo tramos de un sentido) Donde K_L es: 86 para carreteras 93 para autopistas Si $V_H > V_L$ entonces V_H se fija igual a V_L

Fuente: COBA Manual (2002).

Asimismo los niveles de servicio en carreteras suelen clasificarse por categorías que van desde la **A** a la **F** según empeoren las condiciones de la vía. Las características de los mismos se muestran en el Cuadro 4.20.[90]

Cuadro 4.20. Niveles de servicio en las carreteras del Reino Unido

Nivel de servicio	Descripción
A	Condiciones de flujo libre con bajos volúmenes de demanda. Permite velocidades de circulación altas
B	Condiciones de flujo estable. Elección de niveles de velocidad con cierto grado de libertad
C	Condiciones de flujo estable. La velocidad está limitada por los altos volúmenes de tránsito
D	Principio de flujo inestable con volúmenes cercanos al nivel de capacidad de la vía
E	Se alcanza el nivel de capacidad de la vía
F	Flujo forzado. Formación de colas e importantes niveles de congestión

Fuente: COBA Manual (2002).

[90] *Highway Capacity Manual* (2000). Transportation Research Board.

4.6.2. Congestión en otras infraestructuras de transporte

En puertos, aeropuertos y vías ferroviarias la naturaleza del problema de la congestión es distinta. En carreteras el fenómeno de la congestión surge debido a las decisiones individuales de entrada en la vía. Además la entrada se produce de manera aleatoria sin que exista una planificación previa.

Congestión en puertos y aeropuertos

Por el contrario, en aeropuertos, por ejemplo, la congestión es el resultado de sucesos no previstos, como la llegada tardía de tripulaciones o aeronaves, problemas en el espacio aéreo, o presencia de fenómenos meteorológicos adversos que alteran la planificación e incrementan el número de movimientos por encima de lo previsto. En otras palabras, en un mundo ideal donde todo funcionase de acuerdo con el plan previsto la congestión en aeropuertos no existiría.

No obstante conviene señalar que estos acontecimientos que distorsionan el normal funcionamiento del aeropuerto podrían acomodarse mejor cuanto mayor fuera el margen de operaciones del aeropuerto o de las compañías aéreas involucradas. Si la infraestructura opera muy cerca de la capacidad máxima la mayor parte del tiempo, cualquier imprevisto provocará congestión muy fácilmente. De modo similar, cuanto más flexibles sean los transportistas aéreos en la elaboración de sus cuadros de operaciones (flota y tripulaciones) más pueden contribuir a evitar que se desencadenen fenómenos de congestión.

Particularmente, el fenómeno de la congestión en aeropuertos puede producirse en el uso de las pistas de aterrizaje y despegue (por ejemplo, aviones en espera) o en el interior de las terminales (por ejemplo, espacio por persona y comodidades limitadas).[91]

En el caso de los puertos la situación es bastante similar a lo que sucede en aeropuertos. Puede haber congestión a la salida o entrada a puerto (por ejemplo, buques en espera) si el canal de acceso/salida se encuentra ocupado. Igualmente podemos hablar de congestión en el procesamiento de mercancías o pasajeros a través de las instalaciones o terminales portuarias. Finalmente en ferrocarriles podríamos identificar también fenómenos similares a lo que sucede en los aeropuertos.

Las leyes físicas que sustentan los procesos de congestión para este tipo de infraestructuras son mucho menos conocidas. Si bien se han desarrollado algunos modelos, su aplicación no se halla tan extendida como las ecuaciones velocidad-flujo utilizadas para carreteras.

Por ejemplo en aeropuertos se trataría de ecuaciones que vinculasen el flujo de aeronaves en su camino de acceso a las pistas (bien porque estén a punto de aterrizar o despegar) con la acumulación de tiempos de espera para el resto de aeronaves que se encuentren en cola. De nuevo podrían obtenerse ecuaciones similares para la utilización de la capacidad de las terminales a medida que se procesan pasajeros a través de las mismas.[92]

Una definición de estándares de servicio en aeropuertos es la que realiza *Airport Council Internacional (ACI) e Internacional Air Transport Association (IATA)*. Se trata de una escala del nivel de servicio en función del espacio disponible para los pasajeros en distintos puntos de la terminal (véase **Cuadro 4.21**). El nivel de servicio *A* se corresponde con el flujo libre de pasajeros, mientras que el *C* es el espacio mínimo requerido para un flujo constante. Por debajo de *C* los pasajeros empiezan a entorpecerse unos a otros y tienen que hacer paradas frecuentes al moverse por la terminal. Pasando los límites recogidos en *E*, se producirían cruces importantes entre flujos con distintas direcciones y congestión hasta que el sistema colapsa. A partir de dichos estándares de servicio se pueden predecir desviaciones de tráfico si la inversión no se realiza y cálculos de tiempo perdidos por utilizar otro aeropuerto o modo de transporte menos conveniente.[93]

[91] Conviene recordar aquí la distinción entre los conceptos de **congestión** y de **escasez**. Este último hace referencia a la imposibilidad de aceptar todas las peticiones de franjas horarias (*slots*) que realizan las compañías aéreas cada temporada.
[92] Véase Ashford, N., H.P.M. Stanton, y C.A. Moore (1997): *Airport Operations*, Mc Graw-Hill, para una descripción detallada de métodos de medición de uso de la capacidad en aeropuertos.
[93] Jorge, J.D. y De Rus G. (2004): "Cost-Benefit Analysis of Investment in Airports Infrastructure: a Practical Approach", *Journal of Air Transport Management* 10: 311-326.

Cuadro 4.21. Niveles de servicio en terminales aeroportuarias

Nivel de servicio (en m^2 por pasajero)	A	B	C	D	E
Área de facturación	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0
Área de tránsito/espera	2,7	2,3	1,9	1,5	1,0
Sala de espera	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6
Recogida de equipajes (*)	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
Servicios de inspección	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6
Diferencia con respecto a Nivel C	35%	18%	0%	-18%	-36%

Fuente: Jorge y De Rus (2004)
(*) Exceptuando cintas transportadoras

4.7. Proyectos de integración física regional

Dentro de la tipología de proyectos sujetos a evaluación económica, están los que pertenecen a la categoría supranacional, **aquellos cuya principal característica es la integración regional mediante una potenciación de sus intercambios comerciales y un mayor aprovechamiento de las economías de escala y aglomeración.**

Si el beneficio neto de estos proyectos para los distintos países afectados por los mismos es positivo, no cabe esperar que existan más dificultades que las derivadas de las necesidades de financiación, si como ocurre con algunas infraestructuras los beneficios sociales no se traducen en ingresos que permitan autofinanciarse.

Aunque, incluso en este caso en el que el proyecto es beneficioso para el desarrollo económico de la Región y el *VAN* social es positivo para cada país afectado por el proyecto, **las asimetrías en la localización de los beneficios y costes podría dificultar el lanzamiento del proyecto.**

Aunar las voluntades de los gobiernos, y garantizar la participación en la financiación del proyecto de todos los países afectados, es más difícil si el criterio de reparto de los costes no incorpora la previsible localización de los beneficios. Más aún, **cuando el *VAN* social del proyecto a nivel regional es positivo pero para algunos países el VAN es negativo, las dificultades para aprobar el proyecto se acrecientan.**

Un ejemplo

Supongamos, por ejemplo, la posible construcción de una gran infraestructura viaria que une los países N y S, atravesando C. El proyecto tiene un *VAN* global positivo que se fundamenta en la unión de los países N y S con flujos potenciales de tráfico elevados que discurrirán por la carretera mencionada, lo que elevará las ganancias de eficiencia e integración regional.

Cuando el país N realiza la evaluación considera los beneficios y costes nacionales pero ignora los que afectan al país S y C. Lo mismo ocurre con el país S. Podemos suponer que a pesar de ello los beneficios sociales netos de N y S son positivos; sin embargo, el país C no tiene el mismo interés en que la carretera se construya, en la medida en que su menor nivel de desarrollo y su función marginal de servir de paso entre N y S le hace percibir dicha infraestructura como ventajosa para los países con mayor capacidad de generar tráfico. Aunque se derivan beneficios para C los costes de construir el tramo intermedio superan dichos beneficios locales.

Más complicado aún sería el caso en el que los *VAN* nacionales son negativos en los tres países y el *VAN* global positivo. La razón es la siguiente: cuando un país evalúa la oportunidad de construir su tramo de carretera no tiene en cuenta los beneficios y costes que recaen sobre los otros dos países. Suponiendo que la suma de los costes nacionales es el coste total, la existencia de beneficios del tramo de carretera construida por N que disfrutan S y C, los del tramo construido por S que disfrutan N y C, los del tramo construido por C que disfrutan

N y S, y los beneficios disfrutados por otros países de la Región que no han construido tramo alguno, pueden hacer que el beneficio social total supere los costes sociales de construir la infraestructura y sin embargo que ésta no se construya a menos que una agencia multilateral haga posible que lo que es bueno para la Región sea atractivo para los distintos países que han de construirla sobre su territorio.

En estas circunstancias, la evaluación económica del proyecto de inversión debe incluir una imputación de los costes y beneficios de la infraestructura por países afectados dentro de la Región y una evaluación de los mecanismos de financiación alternativos que permitan maximizar el beneficio esperado de la inversión, cumpliendo al mismo tiempo las restricciones presupuestarias correspondientes. Es más difícil garantizar una participación en la financiación del proyecto de todos los países afectados si se parte de una concepción igualitaria de reparto de costes con independencia de la previsible localización de los beneficios.

La financiación de proyectos transfronterizos por el BID, podría evitar los errores que se han detectado en otros procesos de integración supranacional, donde algunos de los países que se incorporan tienen importantes carencias de infraestructuras. **El reto es combinar el apoyo con financiación supranacional a proyectos de interés regional evitando la aparición de incentivos perversos que potencien la presentación de proyectos que son poco interesantes cuando se abandona la perspectiva estrictamente local.**

Es posible que un proyecto de inversión que produce beneficios sociales netos positivos para la Región no incremente el bienestar de un territorio específico sobre el que se construye parte de la infraestructura. El argumento fundamental para no admitir esta razón como suficiente para detener la ejecución de una obra pública es que rara vez un proyecto supondrá una mejora repartida por igual en todo el territorio, y que además la ley de los grandes números nos dice que dado que se ejecutan muchos proyectos similares en la región, en media y a largo plazo todos acabarán beneficiándose.

Sin embargo, estos argumentos no resuelven el problema a corto plazo de financiar una obra pública costosa que requiere participación de varios países en su financiación, cuya percepción difiere con respecto al beneficio esperado a cambio de su contribución. La llamada al beneficio global que se generará, no es suficiente porque no sólo importan las ganancias de la integración sino su reparto (esta es la base de los fondos de cohesión y los estructurales de la Unión Europea).

En Europa se ha apostado por las llamadas redes transeuropeas con financiación de un fondo (el presupuesto comunitario) obtenido con contribuciones de los países miembros en proporción a su nivel de desarrollo. En Europa esto ha tenido efectos positivos pero también ha propiciado que muchas regiones presenten grandes proyectos que se argumentan como estratégicos para la comunidad local, y en cuya presentación y defensa se suele recordar al público local que los fondos externos los perdemos si no se realiza la obra, o que otra comunidad rival se beneficiaría si no lo hacemos nosotros.

La necesidad de introducir un pensamiento algo más complejo es hoy una necesidad urgente. Debemos reflexionar sobre qué infraestructuras necesita Latinoamérica más allá de los puros intereses locales, distinguiendo con claridad las que benefician al conjunto de la región de aquellas otras guiadas por intereses locales estrechos o por intereses de grupos privados en conflicto con la rentabilidad social. También es necesario un cambio en los esquemas de regulación existentes con el fin de eliminar los incentivos que hoy predominan en las decisiones de inversión pública y que pueden retrasar la construcción de infraestructuras necesarias.

Capítulo 5.

Casos de estudio

5.1. La carretera Linden-Lethem (Guyana)

5.1.1. Introducción

El proyecto de rehabilitación y posible ampliación de la actual carretera que enlaza las localidades de Linden (segunda ciudad más importante de Guyana, con 60.000 habitantes) en el norte del país, con la de Lethem, en el sur y muy cercana a la frontera con Brasil (región de Roraima), constituye uno de los proyectos de infraestructuras de transporte de mayor envergadura para Guyana en la actualidad.[1]

Su principal objetivo es mejorar el acceso desde la zona costera, en la que se concentra el 90% de los 750.000 habitantes del país, al interior y se argumenta que su ejecución facilitaría la salida de las exportaciones del norte de Brasil a través del puerto de Georgetown. Actualmente, el proyecto tiene carácter prioritario por parte del gobierno guyanés, y también se halla incluido en la cartera de ejecuciones de la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA)[94] y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

A su paso, la carretera afecta a distintas áreas de actividad económica dentro de Guyana, aunque escasamente pobladas. Son las siguientes de norte a sur:

- *Alto Demerara*: minas de bauxita y actividad en el puerto fluvial de Linden.
- *Mabura Hill*: industria forestal y actividades mineras en la orilla oeste del río Essequibo.
- *Kurupukari*: área de conservación de bosques tropicales de Iwokrama.
- *Rupununi*: ganadería, agricultura y comunidades amerindias.

A su vez, la región de Roraima en Brasil, con 350.000 habitantes, es una zona de rápido crecimiento. Entre las actividades económicas del área destacan la extracción de minerales e hidrocarburos, así como las actividades pesqueras y agrícolas, entre las cuales destaca el cultivo de soja, en expansión. En la actualidad esta producción sale de la zona principalmente a través del río Amazonas por el interior de Brasil, o por carretera hacia Venezuela.

El objetivo de esta sección es evaluar este proyecto desde un punto de vista económico aplicando la metodología propuesta en este *Manual*. Para ello utilizaremos la información suministrada por el propio gobierno guyanés,[95] los estudios previos de viabilidad,[96] y la información recopilada directamente del BID y en una breve visita de campo al país en abril de 2006.[97]

5.1.2. Características del proyecto

El proyecto evaluado consiste en la rehabilitación, mejora y, en su caso, expansión de una carretera de laterita de 448 kilómetros de longitud que discurre por zonas escasamente pobladas del interior de Guyana, con numerosas áreas semi-vírgenes y ríos de elevado caudal que son cruzados mediante puentes y barcazas.

[94] Según esta iniciativa la función de esta carretera es apoyar el desarrollo sostenible y la integración entre los estados brasileños de Amazonas y Roraima, con Guyana, mediante la consolidación de la infraestructura que une a los dos países.
[95] La referencia más actual hasta finales de 2005 la constituye el documento denominado *Guyana Transport Sector Study*. Se trata de un estudio financiado por la Unión Europea y comisionado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Guyana. Contiene una descripción detallada de la situación del sector transporte en el país hasta finales de 2005.
[96] A pesar de tratarse de una referencia más antigua (mayo 2000), el documento titulado *Study for the Upgrading and Completion of the Guyana-Brazil Road*, elaborado por las consultoras AAK y GIBB con financiación de la Unión Europea, constituye una valiosa aportación, pues proporciona datos desagregados sobre la predicción de demanda que han sido utilizados como punto de partida de nuestro análisis.
[97] En la elaboración de este caso hemos contado con la ayuda inestimable de Alejandro Taddia.

Cuadro 5.1. Niveles de tráfico reales en la ruta (1999)

Tramo	Distancia (kms)	Tráfico medio diario	% camiones	% automóviles, todoterrenos y furgonetas
Linden-Mabura Hill	123			
Linden Junction-Rockstone	21,4	2.100	15%	85%
Junction Rockstone Junction- Mabura Hill	101,6	69	70%	30%
Mabura Hill-Kurupukari[6]	101	10	70%	30%
Kurupukari-Annai	99	10	70%	30%
Annai-Lethem	125	8	70%	30%

Fuente: AAK y GIBB (2000).

Como muestra el **Cuadro 5.1**, la vía se divide en cuatro tramos diferenciados (Linden-Mabura Hill, 123 kms.; Mabura Hill-Kurupukari, 101 kms.; Kurupukari-Annai, 99 kms. y Annai-Lethem, 125 kms.), en cada uno de los cuales la velocidad media no supera en la actualidad los 40-50 kms/h., por lo que el tiempo medio de recorrido (sin incluir los períodos de espera para cruzar los ríos) se sitúa actualmente en 10 horas, aproximadamente. Los niveles de tráfico, de acuerdo con las estimaciones disponibles, son muy bajos en todos los tramos, con la excepción de la zona más cercana a la costa.

Alternativas de intervención

Frente a la situación *sin* proyecto, que denominaremos genéricamente *Alternativa 0*, se plantean tres posibles opciones de intervención alternativas, cuyas características y costes de construcción estimados son las siguientes:

Cuadro 5.2. Alternativas de intervención y costes de construcción estimados

Alternativas	Principales características técnicas de cada intervención	Coste estimado (en dólares de 2008)
Alternativa 1 Intervención mínima	Seguir la carretera actual lo máximo posible. Movimientos de tierras mínimos para drenaje y evitar que la carretera se inunde. Ancho de la vía de 8 metros. Laterita	40.016.336
Alternativa 2 Intervención media	Trabajo de ingeniería para realinear la carretera y alcanzar velocidades medias de 65-80 kms/h. Puentes permanentes de hormigón. Ancho de la vía de 10 metros. Laterita	81.996.139
Alternativa 3 Intervención elevada	Trabajo de ingeniería para realinear la carretera y alcanzar velocidades medias de 80-100 kms/h. Puentes permanentes de hormigón con estándar internacional. Ancho de la vía de 7 metros en cada sentido y 1,2 metros de arcenes. Asfalto	182.901.331

Fuente: AAK y GIBB (2000).

[98] Parte de este tramo se vuelve intransitable durante la temporada de lluvias. Por falta de mayor información este hecho no se ha considerado de manera explícita en el análisis.

Costes de construcción

Debe señalarse que los costes de construcción que figuran en el cuadro anterior tienen un carácter aproximado, dado que el proyecto aún se encuentra en fase de estudio y elaboración. Esto hace que las cifras finales del mismo puedan superar ampliamente a las anteriores, situándose algunas estimaciones recientes para el caso de la *Alternativa 3*, por ejemplo, en torno a los 200 millones de dólares.

Asimismo, todos los costes de estudio y pre-diseño del proyecto (estudios de viabilidad, estudio de impacto ambiental actualmente en ejecución, diseño técnico, etc.) forman parte de los costes totales; sin embargo, por su carácter de costes hundidos, hemos preferido excluirlos del análisis.

Con objeto de incorporar la incertidumbre asociada a la variabilidad de los costes de construcción, hemos supuesto que estos pueden verse afectados por un factor de desviación aleatorio, cuya distribución de probabilidad es triangular entre 0% (valor más probable) y 20% (valor máximo posible). De esta manera, los costes de construcción considerados se ajustan, para cada una de las tres alternativas planteadas, a las distribuciones de probabilidad de la **Figura 5.1**.

Calendario de ejecución

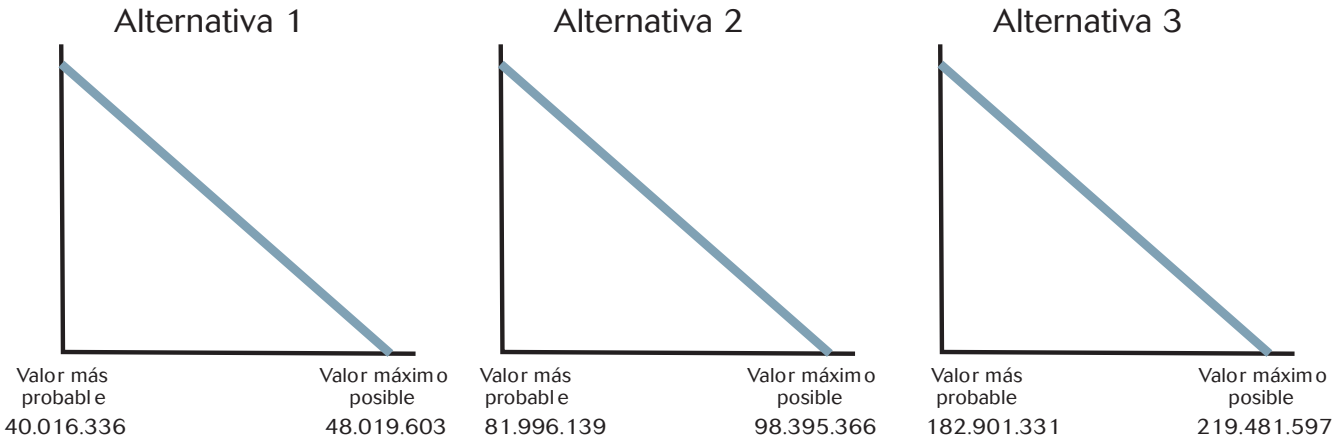
Con respecto al calendario de ejecución del proyecto y su vida útil, no resulta fácil proponer fechas concretas, pues todavía se encuentran en proceso de realización algunos estudios previos, tal como se ha mencionado. Por esta razón, y de acuerdo con la información proporcionada por las fuentes consultadas, a efectos de nuestro análisis hemos considerado que **la ejecución del proyecto comienza en el año 2008** con independencia de la alternativa elegida, **estando completamente operativo en 2010**. A partir de esta fecha suponemos una vida útil de 20 años,[99] por lo que **el análisis económico realizado abarca el horizonte temporal 2008-2030.**

La predicción de la demanda

Uno de los elementos determinantes en el resultado de la evaluación económica del proyecto durante este período temporal es la disponibilidad de datos suficientemente precisos sobre la demanda de viajes realizados por la carretera Linden-Lethem, tanto en el caso de que el proyecto no se lleve a cabo (*Alternativa 0*) como para cualquiera de las tres posibilidades de inversión alternativas.

A falta de otras fuentes de información, **nuestro punto de partida ha sido la predicción de la demanda realizada en el estudio AAK-GIBB, (2000)**, ya citado. Este trabajo, utilizando un modelo gravitacional de proyección de tráfico a partir de magnitudes demográficas y macroeconómicas, proporciona para el período 2005-2025

Figura 5.1. Distribución de probabilidad de los costes de construcción



(Datos en dólares de 2008)

[99] A pesar de que la vida útil de una carretera suele ser mayor en otras pares del mundo, la experiencia guyanesa muestra que tradicionalmente las tasas de mantenimiento de las infraestructuras niarias son bajas, lo cual reduce la vida útil de las mismas.

predicciones desagregadas del volumen anual de tráfico para cada uno de los cuatro tramos considerados y cada alternativa, distinguiendo entre tres tipos de vehículos principales: vehículos de pasajeros (incluyendo automóviles, vehículos todoterreno y mini-buses), camiones ligeros y camiones pesados.

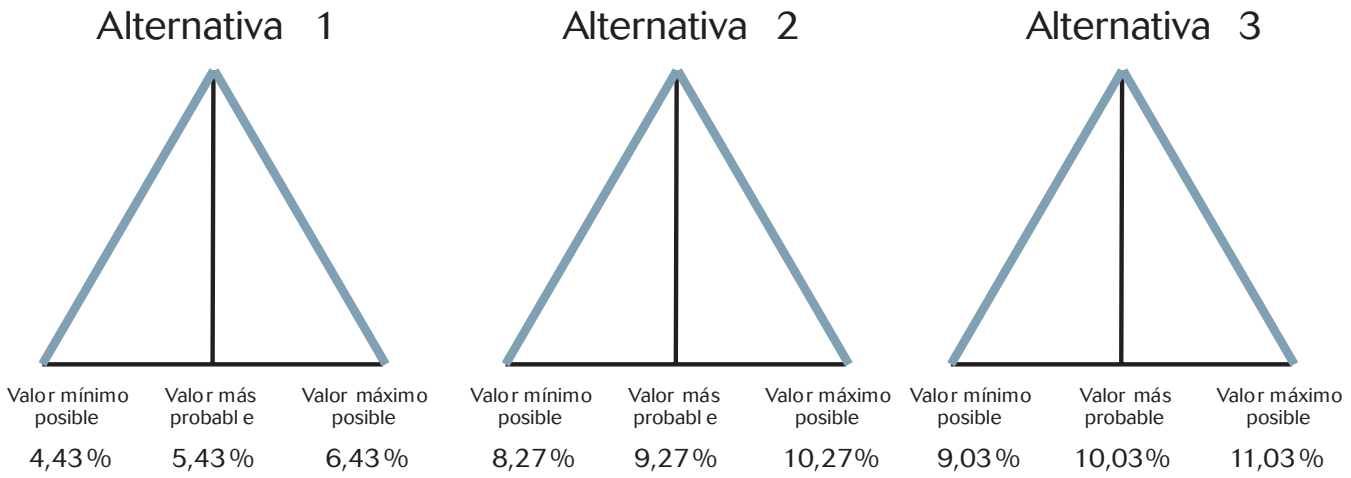
A partir de la proyección de tráfico agregada mencionada se han realizado los siguientes pasos para la predicción de la demanda en esta evaluación:

1. Primero, hemos calculado las tasas de crecimiento anual del tráfico implícitas para el período 2005-2025 según el estudio AAK-GIBB (2000), y extrapolado la tasa media de dicho periodo desde el año 2025 al 2030.

2. En segundo lugar, hemos introducido en estas tasas un componente aleatorio. Suponemos que la tasa de crecimiento anual del tráfico sigue una distribución triangular donde el valor más probable es la tasa media obtenida de la predicción realizada en AAK-GIBB (2000), a la que añadimos, como valores mínimos y máximos el valor central ± 1 punto porcentual (**Figura 5.2**)

3. Finalmente, con las tasas aleatorias así obtenidas – resumidas en la figura siguiente – obtenemos el tráfico para el periodo 2010-2030, desagregando por tramos de carretera y tipos de vehículo de acuerdo con la distribución de AKK-GIB.[100]

Figura 5.2. Tasas aleatorias de crecimiento de la demanda



Si bien es razonable y esperable que distintos niveles de intervención generen tasas de crecimiento diferentes, es evidente que valores superiores al 5% anual acumuladas durante 20 años parecieran ser poco creíbles tanto para la economía de Guyana como de acuerdo a comparaciones internacionales. No obstante, hemos optado por mantenerlas porque proceden de la única fuente disponible en la que se realiza una predicción de la demanda separada por tramos (el estudio AAK-GIBB) y porque su uso favorece al proyecto al sobreestimar los futuros niveles de tráfico.

Costes de operación y mantenimiento

Junto a los costes de construcción ya mencionados, hay que añadir los relativos a la operación y el mantenimiento de la propia carretera una vez realizada la intervención sobre ella, y por otro lado, todos los costes de operación de los vehículos.

[100] Para el caso de la *Alternativa 0*, la tasa media es de 2,62%, calculada de acuerdo con el mismo procedimiento.

En ambos casos hemos utilizado la información disponible procedente tanto del AAK-GIBB (2000) como del *Guyana Transport Sector Study (2005)*. Con respecto a la infraestructura, suponemos que el coste anual y periódico de mantenimiento depende de cada alternativa, siendo los que se recogen en el **Cuadro 5.3**, expresados en dólares de 2008.

Aunque la información sobre el mantenimiento de las carreteras en Guyana no resulta en general demasiado precisa,[101] estos datos deben interpretarse como el volumen medio de inversión necesaria para mantener en buen estado la vía, teniendo en cuenta que el material utilizado (asfalto) hace que la *Alternativa 3* resulte más costosa de mantener (ya que el mantenimiento periódico es más elevado). A estos valores debe añadirse un coste anual *institucional* de 378.995 dólares, que es el presupuesto estimado de una futura *Road Authority*, cuya creación se propone en AAK-GIBB (2000).

Cuadro 5.3. Estimación de los costes de mantenimiento de la carretera

(en dólares de 2008)	Cada año (rutinarios)	Cada 4 años	Cada 5 años	Cada 7 años
Alternativa 0	396.276	–	–	–
Alternativa 1	590.995	–	2.238.962	–
Alternativa 2	590.995	–	2.238.962	–
Alternativa 3	896.000	1.792.000	–	7.168.000

Fuente: AAK-GIBB (2000) y *Guyana Transport Sector Study (2005)*

Costes de operación de los vehículos.

En relación a los costes de operación de los vehículos hemos optado por aplicar directamente los valores originales de AAK-GIBB (2000), transformándolos de euros por kilómetro a dólares por kilómetro, netos de impuestos, y para cada uno de los tres tipos de vehículos considerados (vehículos de pasajeros, camiones ligeros y camiones pesados).

Al disponer de información sobre precios sombra para Guyana (procedente del estudio realizado en 2004 para la carretera entre *New Amsterdam* y *Moleson Creek*)[102] hemos utilizado un factor de conversión de 0,85 para todos los costes de construcción, operación y mantenimiento de la vía, ya que el rango en el estudio mencionado se situaba entre el 82% y el 87%. En el caso de los costes operativos de los vehículos sólo se han deducido los impuestos indirectos.

Otros efectos y externalidades

Tal como fue mencionado anteriormente, la carretera Linden-Lethem está considerada uno de los proyectos prioritarios de desarrollo por parte del gobierno guyanés, ya que se argumenta que potenciará la producción agropecuaria, forestal y minera de las áreas que atraviesa, además de atraer tráfico de exportación procedente de Brasil. Evidentemente, resulta muy difícil cuantificar monetariamente estos beneficios, que en parte están ya reflejados en los que se computan a partir de la predicción de demanda.

Por otro lado, si bien es cierto que la mejora de la accesibilidad de las comunidades del interior del país puede reportar a éstas beneficios en términos económicos y sociales, no es menos cierto que la carretera también conllevará ciertos peligros (transmisión de enfermedades, impacto cultural, daño medioambiental, etc.) cuya valoración todavía no se ha realizado.

[101] Los datos relativos a la *Alternativa 3* proceden de experiencias similares en el Perú, donde los costes rutinarios de mantenimiento en carreteras de parecidas características se sitúan alrededor de 2.500 dólares/km (incluyendo asfaltado y afirmado) y los periódicos en 5.000 dólares/km. (cada cuatro años) y 20.000 dólares/km. (cada 7 años). Estas cifras se han multiplicado por un factor de conversión de 0,8 para tener en cuenta las diferencias de los niveles de renta *per cápita* entre Perú y Guyana.
[102] BID (2004): "Feasibility Study and Detailed Design for the New Amsterdam-Moleson Creek Road". Washington DC.

Asimismo, el incremento de tráfico también implicará un mayor número de accidentes, aunque no disponemos de datos precisos para valorarlos. Por todo esto, **hemos optado por excluir de nuestra evaluación tanto los beneficios mencionados en cuanto a un posible desarrollo económico de la zona (sujetos a un elevado grado de incertidumbre) como las externalidades.**

Esto no quiere decir que dichos beneficios potenciales no existan, sino que no disponemos de evidencia cuantitativa o cualitativa que permita pasar de la especulación y el deseo justificado de que el país prospere a una cuantificación razonable de los mismos.

5.1.3. Métodos y resultados

Con los datos anteriores y utilizando una tasa de descuento del 12% – empleada habitualmente por el BID –, hemos realizado una evaluación económica del proyecto de rehabilitación y mejora de la carretera Linden-Lethem para cada uno de las tres alternativas de intervención consideradas. Para el cálculo del *VAN* social del proyecto **hemos optado por emplear la aproximación basada en el cambio en las disposiciones a pagar y en los recursos utilizados por el proyecto** (véase **Capítulo 2** del *Manual*).

De acuerdo con ella se contemplan en este proyecto los siguientes beneficios (+) y costes (–):

- Costes de construcción (–)
- Cambio en los costes de la infraestructura (operación y mantenimiento) (–)
- Ahorros de tiempo de los viajeros y mercancías iniciales (+)
- Ahorros de costes de operación de los vehículos iniciales (+)
- Disposición a pagar neta de los nuevos viajes y mercancías transportadas (+)
- Costes de operación de los vehículos nuevos (–)

Cálculo de los ahorros de tiempo

Para calcular los ahorros de tiempo, partiendo de la información del **Cuadro 5.1** hemos considerado que las velocidades medias de circulación en cada tramo son variables aleatorias (con distribución uniforme) que oscilan entre 50-65 km/h (*Alternativa 1*), 65-80 km/h (*Alternativa 2*) y 80-100 km/h (*Alternativa 3*). Teniendo en cuenta la longitud de cada tramo, resulta posible obtener los tiempos esperados de viaje para cada tramo y cada alternativa de inversión.

Cuadro 5.4 Tiempos de viaje esperados por tramo y para cada alternativa (horas)

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa3
Tramo I: Linden-Mabura Hill	2,73	2,14	1,70	1,37
Tramo II: Mabura Hill-Kurupukari	2,24	1,76	1,39	1,12
Tramo III: Kurupukari-Annai	2,20	1,72	1,37	1,10
Tramo IV: Annai-Lethem	2,78	2,17	1,72	1,39
TOTAL (horas)	9,96	7,79	6,18	4,98

Nótese que estamos asumiendo dos simplificaciones importantes:

1. En primer lugar, y dado que carecemos de información más detallada, los tiempos de viaje anteriores son iguales para todos los vehículos que circulan por cada tramo (camiones y vehículos de pasajeros).

2. En segundo lugar, los tiempos anteriores se refieren al tiempo de viaje en circulación. No incluyen, por tanto, los tiempos de espera al cruzar ríos ni las detenciones obligatorias (por mal tiempo, por ejemplo). En el caso de que se incluyeran, los ahorros de tiempo asociados a cada una de las inversiones serían mayores.

El valor del tiempo: discusión

Con relación al valor del tiempo, hemos utilizado una doble aproximación. Los tiempos de viaje para los pasajeros y los conductores de los camiones de carga proceden de nuevo de los datos del estudio sobre la carretera entre *New Amsterdam* y *Moleson Creek*. Se trata de la mejor información disponible con datos de Guyana, aunque debido a la variabilidad existente entre distintos tipos de vehículos, hemos optado por aproximarlos a través de una distribución uniforme de probabilidad definida entre los valores mínimos y máximos proporcionados por dicho estudio.

Para el caso del valor del tiempo de la carga transportada no disponemos de datos equivalentes, por lo que hemos optado por transferir a Guyana los valores del estudio UNITE (2001), referidos a 1998.[103] Con el fin de tener en cuenta la incertidumbre asociada a posibles errores de medición en estos valores, los hemos modelizado con una distribución de probabilidad triangular con un margen de variación de ± 30% alrededor del valor estimado.

Finalmente, en todos los casos hemos considerado que el valor del tiempo de viaje no se mantiene constante a lo largo del tiempo, sino que crece a una tasa anual acumulativa del 2% a partir de 2010.[104] El **Cuadro 5.5** resume los valores iniciales del tiempo de viaje (en dólares de 2008).

Cuadro 5.5. Valores iniciales del tiempo de viaje (por hora)

(En dólares de 2008)

	Valor medio de referencia (*)	Distribución de probabilidad	Unidad de medida
Vehículos de pasajeros	2,00	U [1,70 - 2,30]	dólares por pasajero
Conductores de camiones	2,85	U [2,20 - 3,50]	dólares por conductor
Camiones ligeros (carga)	5,73	Triangular [5,73 ± 30%]	dólares por camión
Camiones pesados (carga)	6,16	Triangular [6,16 ± 30%]	dólares por camión

(*) Los valores de referencia para pasajeros y conductores proceden del estudio sobre la carretera entre *New Amsterdam* y *Moleson Creek*, mientras que los de carga se han transferido de UNITE (2001).

[103] Véase el **Capítulo 4** de este *Manual*. Los valores de UNITE se han ajustado al PIB per cápita relativo de Guyana y se han proyectado a dólares de 2008.

[104] Consideramos implícitamente que la elasticidad de esta variable con respecto a la renta es aproximadamente unitaria. Nótese que sería necesario aplicar la misma tasa de crecimiento anual a otras magnitudes que afecten a la renta de los individuos, como por ejemplo, los salarios. No obstante, para simplificar, podemos considerar que los futuros crecimientos de productividad compensan exactamente el incremento de los costes salariales, por lo que no resulta necesario realizar ajustes adicionales.

Cuadro 5.6. Beneficios sociales esperados del proyecto: resumen (valores descontados en dólares de 2008)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costes de construcción	-36.281.478	-74.343.166	-165.830.540
Variación costes mantenimiento de infraestructura	-6.970.917	-6.970.917	-14.818.152
Ahorros de tiempo			
Viajeros	+258.308	+450.702	+594.108
Carga y conductores	+474.863	+789.071	+1.040.138
Ahorro de costes operativos (vehículos)	+206.797	+1.681.044	+1.721.898
Valor (neto) del tráfico generado	+782.952	+8.071.618	+14.021.712
VAN social esperado	-41.529.475	-70.321.649	-163.270.837

Resultados de la evaluación

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el **Cuadro 5.6** resume finalmente los principales beneficios y costes de cada posible intervención, constatándose como principal resultado que **en todas las alternativas consideradas el *VAN* social esperado es siempre negativo**, tal como confirma la **Figura 5.3**. El análisis se ha realizado para el horizonte temporal 2008-2030 y todos los valores monetarios están actualizados a dólares de 2008.[105]

5.1.4. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el proyecto no es rentable desde una perspectiva económica. Ni siquiera la intervención más conservadora arroja resultados positivos. El valor actual neto esperado del proyecto es negativo y la distribución de probabilidad de los valores actuales netos esperados no tiene valores positivos en su rango.

En el caso de la alternativa 1 el *VAN* negativo es mayor en valor absoluto que la inversión inicial y además una tasa de descuento elevada cómo es el 12 por ciento beneficia al proyecto al reducir el peso de los saldos negativos anuales. En las alternativas 2 y 3 se observa que el valor actual neto del proyecto es prácticamente igual al valor de la inversión lo que subraya la nula capacidad del proyecto de generar valor añadido.

¿Quiere esto decir que este proyecto no debería realizarse? Si los datos son correctos y los supuestos realizados plausibles, este proyecto no es interesante en términos económicos en el contexto de una evaluación convencional; sin embargo, las conclusiones obtenidas están condicionadas por las alternativas previamente seleccionadas, surgiendo la duda de si en dichas alternativas se incluyen todas las relevantes.

Razones de accesibilidad y comunicación básica de los núcleos de población y de actividad económica podrían justificar una intervención aún mas conservadora que podría sólo incluir el arreglo de la ruta en los sectores más críticos y la reparación de algunos (o todos) los puentes. Esta redefinición de la intervención mínima no hipoteca futuras actuaciones de mayor calado, teniendo la virtud de permitir obtener más información sobre los posibles beneficios derivados de la nueva actividad económica generada gracias al proyecto, hoy todavía sujetos a un alto grado de incertidumbre sobre su eventual materialización.

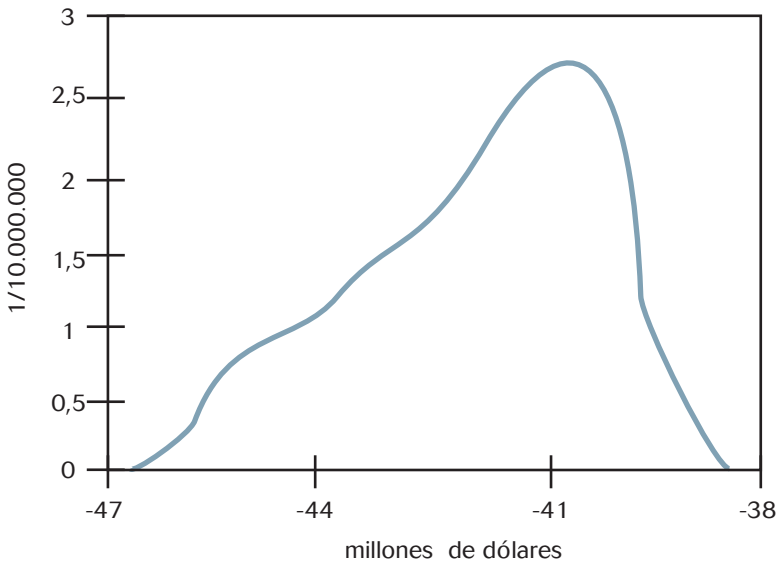
[105] En los **Cuadros 5.7** a **5.10** se presentan los resultados de manera más desagregada.

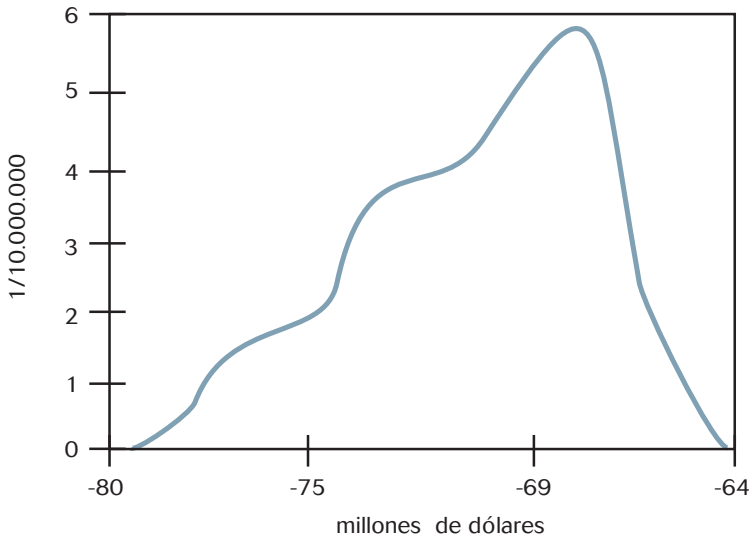
Cuadro 5.7. Beneficios y costes sociales desagregados (en valor esperado)

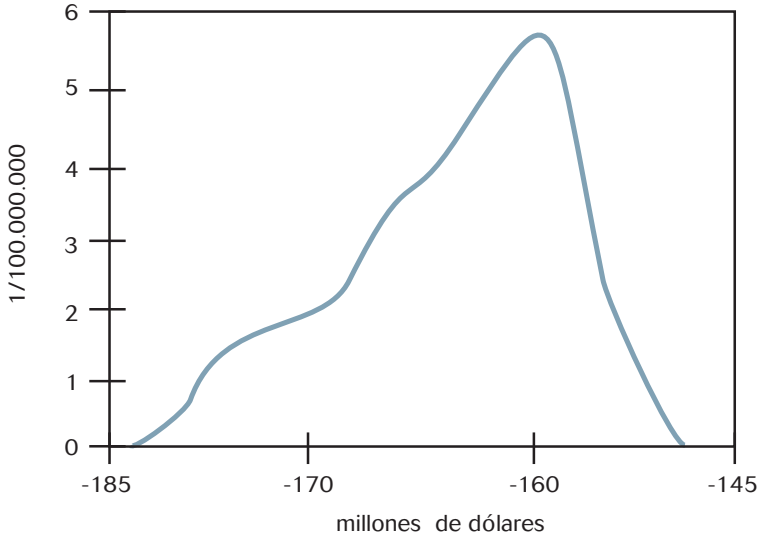
	Alternativa 1 Intervención mínima	Alternativa 2 Intervención media	Alternativa 3 Intervención elevada
(-) Costes de construcción (*)	-36.281.478	-74.343.166	-165.830.540
(+) Ahorros de tiempo	733.171	1.239.773	1.634.246
Pasajeros	258.308	450.702	594.108
Carga (en camiones ligeros)	301.697	526.410	693.904
Carga (en camiones pesados)	0	0	0
Conductores de camiones	173.166	262.660	346.234
(+) Ahorros de costes operativos	206.797	1.681.044	1.721.898
Vehículos de pasajeros	97.236	1.183.041	1.004.775
Camiones ligeros	109.561	498.002	717.124
Camiones pesados	0	0	0
(+) Cambio en disposición a pagar (nuevos viajeros y mercancías)	64.146.280	204.069.259	280.521.314
Vehículos de pasajeros	27.690.431	106.397.248	149.358.742
Camiones ligeros	36.455.848	54.643.422	44.566.845
Camiones pesados	0	43.028.589	86.595.727
(-) Valor del tiempo invertido (nuevos viajeros y mercancías)	-5.358.886	-13.188.683	-14.546.669
Pasajeros	-1.270.658	-4.072.314	-4.616.622
Carga (en camiones ligeros)	-2.730.250	-3.399.461	-2.288.887
Carga (en camiones pesados)	0	-2.752.568	-4.445.803
Conductores de camiones	-1.357.978	-2.964.341	-3.195.357
(-) Costes operativos (nuevos viajeros y mercancías)	-58.004.442	-182.808.958	-251.952.933
Vehículos de pasajeros	-26.178.576	-97.961.939	-138.718.713
Camiones ligeros	-31.825.866	-47.067.223	-38.315.698
Camiones pesados	0	-37.779.795	-74.918.523
(-) Cambios en los costes de la infraestructura	-6.970.917	-6.970.917	-14.818.152
En costes operativos y de mantenimiento anuales	-4.338.428	-4.338.428	-6.644.877
en costes de mantenimiento periódicos	-2.632.489	-2.632.489	-8.173.275
VAN social esperado	-41.529.475	-70.321.649	-163.270.837

(*) Valores en dólares de 2008. Los costes de construcción y de explotación y mantenimiento de la carretera incluyen los precios sombra. Los costes de construcción incluyen la desviación esperada en costes.

Figura 5.3. Distribuciones de probabilidad del *VAN* social







Cuadro 5.8. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto (Alternativa 1)

(Valores reales en dólares de 2008)

	(-) COSTES DE CONSTRUCCIÓN	(+) TOTAL AHORROS DE TIEMPO	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES OPERATIVOS	(+) TOTAL CAMBIO DAP NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL VALOR TIEMPO NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL COSTES OPERATIVOS NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL CAMBIO COSTES INFRAESTRUCTURA	BENEFICIOS SOCIALES NETOS
2008	-36.281.478							-36.281.478
2009								
2010		70.836	23.076	5.076.220	-368.227	-4.640.754	-573.714	-412.563
2011		74.145	23.681	5.469.805	-403.049	-4.995.090	-573.714	-404.223
2012		77.608	24.301	5.888.505	-440.826	-5.371.343	-573.714	-395.469
2013		81.233	24.937	6.333.830	-481.796	-5.770.774	-573.714	-386.283
2014		85.027	25.590	6.807.380	-526.215	-6.194.713	-2.812.676	-2.615.607
2015		88.999	26.260	7.310.849	-574.361	-6.644.564	-573.714	-366.532
2016		93.156	26.948	7.846.032	-626.532	-7.121.811	-573.714	-355.922
2017		97.507	27.653	8.414.829	-683.051	-7.628.018	-573.714	-344.794
2018		102.061	28.377	9.019.254	-744.263	-8.164.837	-573.714	-333.122
2019		106.828	29.120	9.661.440	-810.544	-8.734.012	-2.812.676	-2.559.844
2020		111.818	29.883	10.343.648	-882.296	-9.337.385	-573.714	-308.047
2021		117.041	30.665	11.068.269	-959.955	-9.976.897	-573.714	-294.590
2022		122.507	31.468	11.837.842	-1.043.988	-10.654.599	-573.714	-280.483
2023		128.230	32.292	12.655.052	-1.134.900	-11.372.656	-573.714	-265.697
2024		134.219	33.138	13.522.745	-1.233.235	-12.133.352	-2.812.676	-2.489.163
2025		140.488	34.005	14.443.937	-1.339.581	-12.939.097	-573.714	-233.961
2026		147.050	34.896	15.421.823	-1.454.567	-13.792.435	-573.714	-216.947
2027		153.918	35.809	16.459.789	-1.578.875	-14.696.051	-573.714	-199.123
2028		161.108	36.747	17.561.422	-1.713.238	-15.652.778	-573.714	-180.453
2029		168.633	37.709	18.730.522	-1.858.445	-16.665.604	-2.812.676	-2.399.863
2030		176.509	38.697	19.971.117	-2.015.349	-17.737.686	-573.714	-140.427

Cuadro 5.9. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto (Alternativa 2)

(Valores reales en dólares de 2008)

	(-) COSTES DE CONSTRUCCIÓN	(+) TOTAL AHORROS DE TIEMPO	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES OPERATIVOS	(+) TOTAL CAMBIO DAP NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL VALOR TIEMPO NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL COSTES OPERATIVOS NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL CAMBIO COSTES INFRAESTRUCTURA	BENEFICIOS SOCIALES NETOS
2008	-74.343.166							-74.343.166
2009								
2010		119.782	187.587	12.067.446	-655.924	-10.965.440	-573.714	179.737
2011		125.377	192.498	13.458.796	-744.332	-12.213.405	-573.714	245.221
2012		131.233	197.539	14.988.565	-843.488	-13.583.121	-573.714	317.014
2013		137.363	202.711	16.670.079	-954.651	-15.086.035	-573.714	395.752
2014		143.779	208.019	18.517.939	-1.079.228	-16.734.658	-2.812.676	-1.756.826
2015		150.494	213.466	20.548.146	-1.218.788	-18.542.665	-573.714	576.940
2016		157.524	219.055	22.778.231	-1.375.079	-20.525.002	-573.714	681.015
2017		164.881	224.791	25.227.406	-1.550.052	-22.698.007	-573.714	795.304
2018		172.582	230.677	27.916.724	-1.745.886	-25.079.537	-573.714	920.847
2019		180.643	236.717	30.869.257	-1.965.007	-27.689.108	-2.812.676	-1.180.174
2020		189.081	242.916	34.110.288	-2.210.123	-30.548.051	-573.714	1.210.397
2021		197.913	249.276	37.667.526	-2.484.254	-33.679.678	-573.714	1.377.068
2022		207.157	255.803	41.571.339	-2.790.768	-37.109.470	-573.714	1.560.348
2023		216.833	262.501	45.855.009	-3.133.419	-40.865.273	-573.714	1.761.938
2024		226.960	269.375	50.555.017	-3.516.395	-44.977.520	-2.812.676	-255.239
2025		237.561	276.428	55.711.347	-3.944.367	-49.479.473	-573.714	2.227.783
2026		248.657	283.666	61.367.825	-4.422.540	-54.407.482	-573.714	2.496.412
2027		260.272	291.094	67.572.492	-4.956.722	-59.801.270	-573.714	2.792.152
2028		272.428	298.716	74.378.013	-5.553.385	-65.704.254	-573.714	3.117.804
2029		285.153	306.538	81.842.117	-6.219.749	-72.163.876	-2.812.676	1.237.507
2030		298.472	314.564	90.028.097	-6.963.859	-79.231.987	-573.714	3.871.573

Cuadro 5.10. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto (Alternativa 3)

(Valores reales en dólares de 2008)

	(-) COSTES DE CONSTRUCCIÓN	(+) TOTAL AHORROS DE TIEMPO	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES OPERATIVOS	(+) TOTAL CAMBIO DAP NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL VALOR TIEMPO NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL COSTES OPERATIVOS NUEVOS USARIOS	(-) TOTAL CAMBIOS COSTES INFRAESTRUC-TURA	BENEFICIOS SOCIALES NETOS
2008	-165.830.540							-165.830.540
2009								
2010		157.895	192.145	15.871.590	-687.754	-14.454.120	-878.719	201.036
2011		165.270	197.177	17.768.384	-783.764	-16.161.087	-878.719	307.260
2012		172.989	202.340	19.866.327	-892.071	-18.045.976	-878.719	424.889
2013		181.069	207.638	22.186.218	-1.014.205	-20.126.809	-2.670.719	-1.236.808
2014		189.526	213.075	24.750.999	-1.151.883	-22.423.415	-878.719	699.582
2015		198.379	218.654	27.585.974	-1.307.037	-24.957.619	-878.719	859.631
2016		207.645	224.379	30.719.058	-1.481.831	-27.753.441	-8.046.719	-6.130.909
2017		217.343	230.254	34.181.042	-1.678.699	-30.837.310	-2.670.719	-558.089
2018		227.495	236.283	38.005.894	-1.900.374	-34.238.316	-878.719	1.452.263
2019		238.121	242.470	42.231.086	-2.149.923	-37.988.468	-878.719	1.694.567
2020		249.243	248.819	46.897.956	-2.430.790	-42.122.992	-878.719	1.963.518
2021		260.885	255.334	52.052.112	-2.746.843	-46.680.650	-2.670.719	470.119
2022		273.070	262.020	57.743.870	-3.102.424	-51.704.100	-878.719	2.593.717
2023		285.825	268.881	64.028.743	-3.502.408	-57.240.283	-8.046.719	-4.205.961
2024		299.175	275.922	70.967.983	-3.952.267	-63.340.850	-878.719	3.371.244
2025		313.149	283.146	78.629.175	-4.458.146	-70.062.644	-2.670.719	2.033.961
2026		327.776	290.560	87.086.892	-5.026.943	-77.468.208	-878.719	4.331.357
2027		343.085	298.169	96.423.424	-5.666.401	-85.626.370	-878.719	4.893.187
2028		359.110	305.976	106.729.579	-6.385.213	-94.612.862	-878.719	5.517.871
2029		375.884	313.988	118.105.572	-7.193.136	-104.511.021	-2.670.719	4.420.566

5.2. La carretera Florianópolis-Osório (Brasil)

5.2.1. Introducción

La carretera BR-101 es una ruta federal de elevado tráfico que transcurre de norte a sur a lo largo del litoral brasileño, con una extensión total de 4.551 kilómetros. El proyecto de rehabilitación y duplicación de la sección entre Florianópolis y Osório constituye una de las últimas etapas dentro de un programa más ambicioso de desarrollo de la región sur-sudeste de Brasil (donde se concentra casi el 80% del PIB) y forma parte además de uno de los ejes de desarrollo del MERCOSUR. Este tramo tiene una longitud total de 349 kilómetros, de los que 249 se sitúan en el estado de Santa Catarina (SC) y el resto en el estado de Rio Grande do Sul (RS). No obstante, los trabajos de duplicación de los primeros 11 kilómetros ya se han concluido, por lo que el proyecto de inversión analizado en este caso abarca únicamente 338 kilómetros, los cuales se encuentran divididos en 18 *segmentos homogéneos*, con diferente extensión y niveles de tráfico, tal como resume el cuadro siguiente.

Cuadro 5.11. Características de la carretera Florianópolis-Osório

Segmento	Inicio	Fin	Kms	*Vehículos (intensidad media diaria)*
1	Entr. BR-282 (Palhoça)	Entr. SC-433 (p/ Pinheira)	27,9	13.492
2	Entr.SC-433 (p/ Pinheira)	Entr. SC-437 (p/ Imbituba)	39,7	12.356
3	Entr. SC-437 (p/ Imbituba)	Entr. SC-486 (p/ Laguna)	28,7	12.816
4	Entr. SC-436 (p/ Laguna)	Entr. BR-475 (Tubarão)	22,8	13.363
5	Entr. BR-475 (Tubarão)	Entr. SC-440 (p/ Guarda)	3,0	13.777
6	Entr. SC-440 (p/ Guarda)	Entr. SC-499 (p/ M. da Fumaça)	32	13.635
7	Entr. SC-499 (p/ M. da Fumaça)	Entr. SC-444 (Ac. N. Criciuma)	10,7	12.342
8	Entr. SC-444 (Ac. N. Criciuma)	Entr. SC-446 (Ac. S. Criciuma)	14,9	12.195
9	Entr. SC-446 (Ac. S. Criciuma)	Entr. SC-449 (Araranguá)	16,1	12.439
10	Entr. SC-449 (Araranguá)	Entr. BR-285 (p/ Ermo)	14,1	11.661
11	Entr. BR-285 (p/ Ermo)	Entr. SC-485 (p/ Sombrio)	10,3	11.219
12	Entr. SC-485 (p/ Sombrio)	Frontera SC / RS	29,2	9.692
13	Frontera SC/ RS	Entr. BR-453 (p/ Torres)	2,5	7.612
14	Entr. BR-453 (p/ Torres)	Entr. RS-486 (Terra de Areia)	42,7	5.108
15	Entr. RS-486 (Terra de Areia)	Inicio de Variante do Morro Alto	17,8	5.108
16	Inicio de Variante do Morro Alto	Final da Variante do Morro Alto	9,1	5.108
17	Final de Variante do Morro Alto	Inicio de Pista Dupla	11,7	6.792
18	Inicio de Pista Dupla	Entr: BR-290 (Osório)	4,8	6.792
TOTAL	Florianópolis	Osorio	338	10.618

Fuente: ENECON (2002). Datos de tráfico correspondientes a 1997.

Aunque su origen es más antiguo, la carretera entre Florianópolis y Osório fue pavimentada originalmente durante el período 1968-71 y se caracteriza, en términos generales, por disponer de calzadas simples con anchos de 7 metros y arcenes de 2,5 metros. Sin embargo, algunos segmentos carecen aún de pavimentación o disponen de menor anchura, generando un notable grado de congestión y deterioro de los vehículos.

Por ello se espera que la rehabilitación y duplicación de la vía contribuya a aliviar el problema de falta de capacidad, a reducir los costes de mantenimiento de los vehículos y a reducir sustancialmente las elevadas tasas de accidentalidad actuales. Para esto el proyecto incluye específicamente actuaciones concretas destinadas a eliminar puntos críticos, así como la instalación de dispositivos de seguridad vial, incluyendo señalización horizontal y vertical, defensas laterales y separadores rígidos centrales y laterales.

Aplicando la metodología propuesta en este *Manual*, en esta sección realizaremos una evaluación económica de este proyecto partiendo de la información proporcionada por las autoridades brasileñas, los estudios previos de viabilidad,[106] y la información recopilada directamente del BID y en una breve visita de campo al país en mayo de 2006.[107]

5.2.2. Características del proyecto

El proyecto evaluado consiste en la rehabilitación y duplicación de una carretera de 338 kilómetros caracterizada en la actualidad por una elevada intensidad de tráfico y altos niveles de accidentalidad (en promedio, durante los últimos años, 125 accidentes al mes, con casi 150 muertos anuales). En el análisis realizado sólo se considera una alternativa de inversión, por lo que hay una única comparación de la situación *con proyecto* con la *sin proyecto*, calculándose los flujos de beneficios y costes sociales en cada caso y la distribución de probabilidad del correspondiente *VAN* social.

Costes de construcción

La información relativa a los costes de construcción (rehabilitación y duplicación) del proyecto se ha ido actualizando a lo largo de los últimos años en función de la información disponible en cada momento. En julio de 2001, la inversión prevista se situaba alrededor de 2.053 millones de reales (**832 millones de dólares**), con un calendario de ejecución que estimaba la conclusión de las obras en 2006 y la vida útil del proyecto en 20 años (ENECON, 2002).

Sin embargo, de acuerdo con la información recopilada en mayo de 2006, las obras – aunque ya iniciadas en 2005 – habían sufrido un ligero retraso, estando prevista su conclusión en diciembre de 2008. De igual manera los costes de construcción se habían incrementado, situándose la inversión **alrededor de 2.426 millones de reales (1.103 millones de dólares) valorados en diciembre de 2005**. Al tratarse de la información más actual disponible, éstas son las cifras que hemos utilizado finalmente, para cuya conversión en costes económicos hemos utilizado un factor de 0,80 que coincide con el precio-sombra empleado en ENECON (2002). El **Cuadro 5.12** presenta de manera desagregada las diferentes partidas que componen los costes de construcción de este proyecto.[108]

[106] La principal fuente de datos para el análisis realizado en esta sección es el *Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica* elaborado por la empresa consultora ENECON S/A, (en adelante, ENECON, 2002). En este estudio se realiza una actualización de los estudios de viabilidad anteriores, estimándose los principales costes y beneficios del proyecto valorados en dólares de 2001. Sin embargo, en mayo de 2006, tanto los costes de inversión como el calendario de ejecución de las obras habían sufrido diferentes modificaciones que hemos incorporado a nuestro análisis. Por esta razón, nuestros resultados no son directamente comparables con los de ENECON (2002).

[107] Agradecemos particularmente la colaboración de Esteban Diez-Roux (BID) y del personal tanto del Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes (DNIT) como de otros departamentos ministeriales brasileños, por su colaboración en la recopilación de información.

[108] Los costes de construcción se imputan al año base (2005), en lugar de redistribuirlos en varios años. Esto perjudica la rentabilidad del proyecto al aumentar el valor presente de los costes de inversión. Decidimos esta opción para evitar el reparto arbitrario de los costes en varios años y también como una manera de anticiparnos a posibles desviaciones al alza de los costes de construcción. De igual manera y debido a que introducimos un factor aleatorio de desviación de costes, hemos exluido del poyecto aquellas partidas destinadas a cubrir contigencias imprevistas en el transcurso de las obras.

Cuadro 5.12. Costes de construcción desagregados

Tipo de coste (valorados en diciembre 2005)	Costes financieros		Costes económicos	
	Reales (R$)	Dólares (US$)	Reales (R$)	Dólares (US$)
Administración	15.824.600	7.193.000	12.659.680	5.754.400
Costes directos	1.876.828.800	853.104.000	1.501.463.040	68.2483.200
Costes indirectos	108.864.800	49.484.000	87.091.840	39.587.200
Estudios actuaciones concretas	16.060.000	7.300.000	12.848.000	5.840.000
Costes institucionales	15.400.000	7.000.000	12.320.000	5.600.000
Total costes de construcción	2.426.833.200	1.103.106.000	1.626.382.560	739.264.800

Fuente: BID e información recopilada en trabajo de campo (2006). Tipo de cambio: 1US$ = 2,2 R$

De esta manera, **nuestro análisis evalúa el proyecto de rehabilitación-duplicación de la carretera Florianópolis-Osório en diciembre de 2005, considerando que éste se encuentra operativo entre los años 2009-2029.**

Costes de mantenimiento y explotación

Los costes de mantenimiento y explotación de una carretera se desagregan habitualmente en costes rutinarios (anuales) y costes periódicos (plurianuales). La información proporcionada por el *Estudio de Viabilidade Técnico-Econômica* realizado por ENECON sitúa los primeros en **1.700 US$/km** para el caso sin proyecto, y en **3.060 US$/km** tras la realización del proyecto. Estos valores están expresados en dólares de julio de 2001 y equivalen, respectivamente, a 6.316 y 11.369 reales de diciembre de 2005.[109] De acuerdo con el mencionado estudio, el factor de ajuste para tener en cuenta el precio-sombra de los inputs debe ser de 0,85, por lo que **los valores a utilizar finalmente son de 5.369 y 9.664 reales por kilómetro cada año.**

Con respecto a los costes de mantenimiento periódicos resulta necesario realizar un cálculo similar a partir de la información proporcionada por ENECON (2002) para el año 2001. De esta manera, y valorados en diciembre de 2005, obtenemos que su importe final *sin* proyecto ascendería a **378.977 reales por kilómetro cada siete años**, mientras que en el caso con proyecto estos costes serían diferentes entre distintos segmentos de la carretera. Para los segmentos 1 a 12 hemos calculado la cifra de **269.705 reales por kilómetro**, mientras que para los segmentos 13 a 18 serían **366.028 reales por kilómetro**, en ambos casos, cada siete años. La razón por la que estos segmentos tienen costes de mantenimiento periódicos diferentes puede encontrarse en el hecho de que se sitúan en distintos estados (**Cuadro 5.11**) y en el diferente tipo de tráfico principal que soportan, como confirma la **Figura 5.5**, más adelante.

Por otra parte, algunas de las fuentes de información consultadas para este caso discuten la posibilidad de que, tras la realización de las obras de rehabilitación y duplicación del tramo entre Florianópolis y Osorio, el mantenimiento y explotación de la vía sea concesionado a una empresa privada, que se financiaría mediante el cobro de alguna forma de peaje. Esto obligaría a computar el *VAN* financiero del proyecto, incorporando los flujos de beneficios y costes privados. Debe tenerse en cuenta que el *VAN* social sería distinto en el caso de introducir un peaje, ya que en la presente evaluación la demanda está estimada con un precio monetario igual a cero. La falta de información concreta sobre las posibles características de la concesión (plazo, peajes, costes del concesionario,…) nos han llevado a descartar finalmente el análisis financiero.

[109] Para proyectar valores monetarios en reales del año 2001 hasta el año 2005 hemos utilizado las tasas de inflación publicadas por el Banco Central de Brasil (http://www.bcb.gov.br/). Para proyecciones de 2005 en adelante se han utilizado las estimaciones del FMI para Brasil en el período 2005-2010.

Costes operativos de los vehículos

Junto con los costes de construcción y mantenimiento asociados a la infraestructura, el coste de operación de los vehículos representa uno de los elementos más relevantes en la evaluación de los costes sociales de este proyecto. En este caso, la variación en los costes de operación de los vehículos es positiva, lo que implica un aumento de los beneficios sociales.

Esto se debe, por un lado, a que el aumento de la velocidad de circulación conlleva mayor velocidad media y menor tiempo de desplazamiento, lo que implica una reducción de los costes de operación relacionados con el tiempo de uso del vehículo, como el salario de los conductores. Asimismo, la mejora en las condiciones de circulación favorece una mejora en las condiciones de funcionamiento de los motores, con la consiguiente reducción del consumo de combustible y alargamiento de la vida útil de los mismos. Por otro lado, la mejora en las condiciones físicas de la carretera conlleva un menor desgaste de los vehículos, lo que reduce el gasto en mantenimiento y reparaciones.

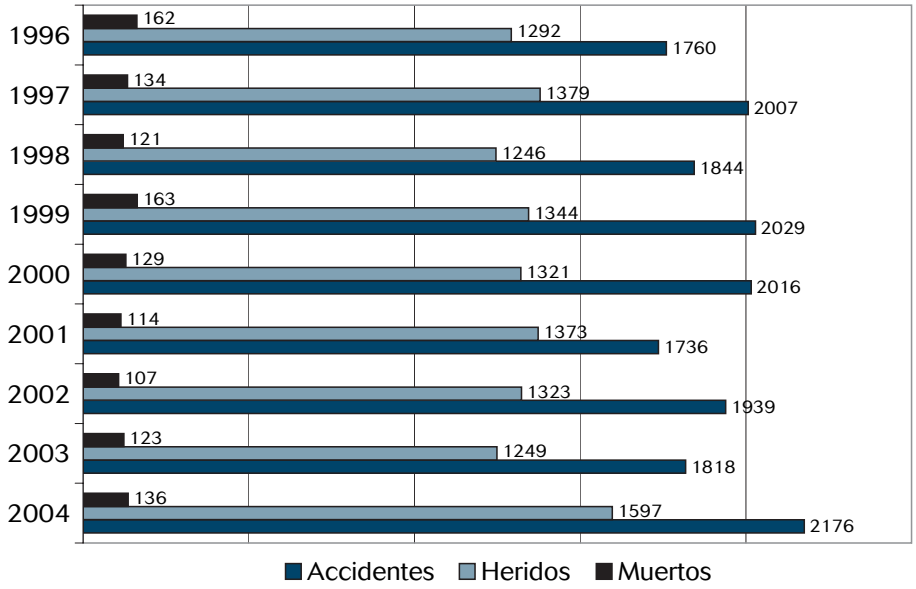
Aunque disponemos de algunas estimaciones individuales de los principales componentes de los costes de operación (adquisición de vehículos, neumáticos, salarios de conductores, repuestos, combustibles, lubricantes, etc.) para cada tipo de vehículo en la situación *sin* proyecto, en ENECON (2002) se computa directamente la variación en dichos costes *con* y *sin* proyecto utilizando el denominado *Highway Design and Maintenance Model* (HDM), que permite simular, para cada uno de los segmentos y años el ahorro de costes operativos en términos económicos, neto de impuestos.

Los valores agregados obtenidos de esta simulación constituyen la mejor aproximación disponible a la medición del cambio de los costes operativos de los vehículos como resultado de este proyecto, por lo que han sido incorporados directamente en nuestro análisis. Sin embargo, dichos valores incluyen el salario de los conductores (de autobuses y camiones) dentro del coste de operación de los vehículos. Puesto que en nuestro análisis se incluye dicho componente dentro del valor de los ahorros de tiempo de los conductores, resulta necesario restar dichos ahorros de la cifra proveniente de ENECON (2002), con el fin de evitar la doble contabilización.

Accidentes, costes medioambientales y efectos indirectos

Como ya se ha indicado, la reducción de las altas tasas de accidentalidad actuales, cuyos valores del período 1996-2004 se presentan en la **Figura 5.4** constituye uno de los objetivos del proyecto de rehabilitación y duplicación de la carretera entre Florianópolis y Osório.

Figura 5.4. Niveles de accidentalidad en la carretera Florianópolis-Osório



Fuente: ENECON (2002)

En ENECON (2002) se realiza una detallada estimación, por cada segmento y año, de la reducción de costes de los accidentes de tráfico asociados a la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta tanto el tipo de vehículo implicado como la gravedad del accidente. Sin embargo conviene señalar que dicho estudio se subestiman el coste total de los accidentes al no incluirse de manera explícita la disposición a pagar por la reducción del riesgo (VOSL), incluyéndose en su lugar las indemnizaciones por seguros.[110] No se ha realizado un esfuerzo adicional para calcular con mayor exactitud la cuantía de dichos costes tanto por su efecto nulo sobre la conveniencia de aceptar el proyecto debido a la alta rentabilidad social del mismo (suponemos que la decisión es de aceptar-rechazar y no la de comparar con otros proyectos) como por la falta de datos en cuanto a la composición del coste a nivel de los distintos tramos considerados.

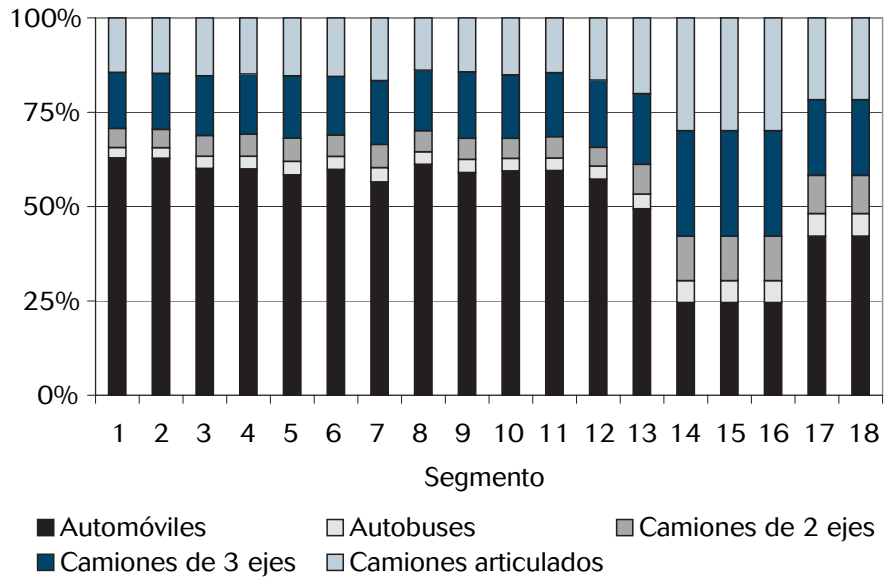
Con respecto al resto de *costes externos* y *efectos indirectos* hemos considerado que, a pesar de su potencial relevancia (particularmente en lo referente a los efectos de desarrollo regional asociados a la nueva vía en el contexto de MERCOSUR y a los impactos medioambientales), las estimaciones numéricas realizadas en ENECON (2002) y otros estudios no permiten incluir una cifra suficientemente objetiva en la evaluación por lo que asumiremos de manera cualitativa que, en el peor de los casos estos efectos se cancelan mutuamente y, en el mejor, suponen un beneficio social adicional para un proyecto cuyos resultados ya son, por sí solos, suficientemente positivos.111

Predicción de la demanda

Finalmente, ENECON (2002) toma como datos de partida para la predicción de demanda los datos de tráfico de un muestreo realizado en noviembre de 1997 mediante la instalación de 14 puestos de control en diversos puntos de la carretera entre Florianópolis y Osório.

A partir de estas estimaciones se realizó un análisis completo de los orígenes-destinos de los distintos tipos de vehículos considerados (automóviles, autobuses, camiones de dos ejes, camiones de tres ejes y camiones articulados) y su distancia media recorrida, lo cual permitió obtener una distribución completa del tráfico inicial (sin

Figura 5.5. Distribución del tráfico por tipo de vehículo y segmento



Fuente: Elaboración propia a partir de ENECON (2002). Datos de 1997.

[110] Según estimaciones del VOSL para Brasil (Véase el Capitulo 4 de este *Manual*) este puede situarse en niveles que oscilan entre el doble y el triple de los valores que se utilizaron en ENECON (2002) como indemnizaciones por seguros.
[111] Los estudios de impacto ambiental realizados para este proyecto no permiten reducir a una única cifra el efecto global del proyecto, ya que incluyen impactos muy heterogéneos y de difícil valoración global.

proyecto) en 1997 en cada uno de los segmentos estudiados.[112] Así, la **Figura 5.5** muestra que en los segmentos 1 a 12 (situados en Santa Catarina) el tráfico principal es el de automóviles y autobuses, mientras que en el resto de segmentos (en Rio Grande do Sul), el transporte de carga en camiones constituye el tráfico principal.

Con estos datos iniciales, y con el fin de ilustrar nuevamente la metodología de evaluación propuesta en este *Manual*, hemos optado por realizar dos tipos de análisis de este proyecto:

1. El primero de ellos (denominado **Modelo 1**) utiliza directamente las predicciones de tráfico realizadas en ENECON (2002), basadas en tasas de crecimiento geométrico que conllevan implícitamente la hipótesis de "matriz fija" de tráfico.

2. En el segundo caso (**Modelo 2**), hemos realizado nuestra propia estimación de demanda, consistente en una proyección lineal del tráfico inicial (1997) *con* y *sin* proyecto, en la que introducimos componentes aleatorios tanto para la tasa anual de crecimiento de la demanda como para el tráfico generado. El objetivo de esta segunda predicción es la de ilustrar la metodología propuesta en el *Manual*, concebida para unas condiciones muy limitadas de información y recursos disponibles para la evaluación.

Modelo 1: El método de ENECON (2002)

El modelo de proyección de tráfico futuro que se utiliza en el estudio ENECON (2002) determina directamente el tráfico previsto en el año i a partir de un año base (1997) y de unas tasas de crecimiento (θ) obtenidas a partir de información histórica (años i=1,…,n), de manera que se cumpla la relación:

$$IMD_{1997} \times \left[\sum_{i=1}^{n}(1+\theta)^{i}\right] = \sum_{i=1}^{n} IMD_{i}$$

donde *IMD* es la intensidad media diaria (agregada para todos los vehículos). La principal dificultad de este método de proyección de la demanda es que para los valores futuros no se conoce IMD_i, lo cual obliga a utilizar procedimientos de regresión para obtener tasas de crecimiento probabilísticas con diferentes niveles de confianza en función de otras variables.

En particular, en ENECON (2002) se utilizó un modelo de proyección gravitacional basado en la evolución prevista de los precios de la gasolina, del salario mínimo y del PIB per cápita, generando un conjunto de estimaciones de tasas de crecimiento con sus correspondientes niveles de confianza, de las que presenta, a modo de ejemplo, las siguientes:

Nivel de confianza	90%	80%	70%	60%
Tasa de crecimiento	0,95	1,80	2,62	3,45

Finalmente, tras comparar las diferentes predicciones de demanda resultantes de estas tasas con algunos datos de tráfico reales obtenidos en años posteriores en algunos de los puestos de muestreo de ENECON (2002) se concluyó que las predicciones correspondientes al nivel de confianza del 70% eran las más realistas, **por lo que se optó por trabajar con una tasa de crecimiento del 2,62%**, obteniéndose así el volumen de tráfico *con proyecto* (q^1) para cada uno de los segmentos y tipos de vehículos considerados. Este mismo supuesto es el que se utiliza en nuestro análisis para estimar la demanda correspondiente al **Modelo 1.**

Modelo 2: Predicción alternativa de la demanda

La predicción de demanda realizada en ENECON (2002) está utilizando implícitamente la denominada hipótesis de "matriz fija", ya que **no proporciona la información de cuánto sería el volumen de tráfico en la carretera si el proyecto no fuese realizado**, sino únicamente con proyecto.

Este procedimiento de predicción no permite desagregar algunos de los beneficios y costes sociales del proyecto. Por ello, y con el fin de ilustrarlos explícitamente, realizaremos una predicción alternativa – no necesariamente

[112] El muestreo también sirvió para obtener información relevante sobre la renta media de los pasajeros de los automóviles y autobuses, sobre el tipo de cargas transportadas y su valor promedio, así como las velocidades de los vehículos. Algunos de estos datos se utilizarán más adelante.

coincidente con la anterior – a partir de la cual podemos obtener el tráfico con y sin proyecto y donde podamos introducir algunos elementos aleatorios para tener en cuenta la incertidumbre asociada a este método de predicción.

En particular, nuestra predicción alternativa se basa en tres supuestos:

1. Tomamos como valores iniciales los mismos datos de 1997, desagregados por tipo de vehículo y segmento de la carretera, ya que se trata del único muestreo disponible que abarca la totalidad del tramo analizado.

2. Para proyectar el tráfico de los años siguientes aplicamos a los datos de tráfico inicial una tasa lineal de crecimiento anual acumulativo de carácter aleatorio. En particular consideramos que esta tasa sigue una distribución uniforme que toma valores entre 2% y 2,5% (ver **Figura 5.6**). Estos valores, aunque inferiores a la tasa de crecimiento prevista del PIB, conducen a predicciones compatibles con las resultantes del **Modelo 1** en el año 2030, como muestra la **Figura 5.7**.

3. Para estimar el tráfico generado por el proyecto consideraremos que éste aparece a partir del año 2009 (fecha de finalización de las obras) de acuerdo con un porcentaje aleatorio (distribuido uniformemente entre el 10% y el 20%) que multiplica al tráfico del año anterior. Estos porcentajes son similares a los presentados en el Capítulo 4 de este *Manual* en relación a la evidencia empírica disponible a nivel internacional.

En la **Figura 5.7** se comparan las predicciones de demanda resultantes en el **Modelo 1** y el **Modelo 2** en el período 1997-2030 en términos de millones de vehículos anuales. Como puede observarse las predicciones de tráfico final (q^1) con el **Modelo 1** decrecen paulatinamente en el tiempo debido a que se considera que el crecimiento es geométrico, lo cual refleja implícitamente la aparición de congestión.

En el caso del **Modelo 2**, se observa que se trata de una proyección lineal del tráfico que "salta" en el año 2009 debido a la aparición del tráfico generado. Dado que este sistema de predicción no incluye explícitamente la posible aparición de congestión, será necesario tenerlo en cuenta en el cómputo de los tiempos de viaje.

Cálculo de los tiempos de viaje

El tiempo de viaje en la carretera es el cociente entre la distancia a recorrer y la velocidad media de circulación, la cual se ve condicionada por el estado de la vía y el nivel de congestión. Cuando utilizamos la predicción de demanda discutida en el **Modelo 1**, la información disponible en ENECON (2002) permite calcular fácilmente los tiempos de viaje *con* y *sin* proyecto para todos los segmentos analizados y todos los años considerados, aunque con las siguientes restricciones:

1. La velocidad media está asociada al tipo de vía (calzada sencilla o doble), pero no se encuentra desagregada por tipo de vehículo, por lo que tanto automóviles, como autobuses y camiones tardan el mismo tiempo en recorrer cada segmento.

Figura 5.6. Distribuciones de probabilidad utilizadas (Modelo 2)

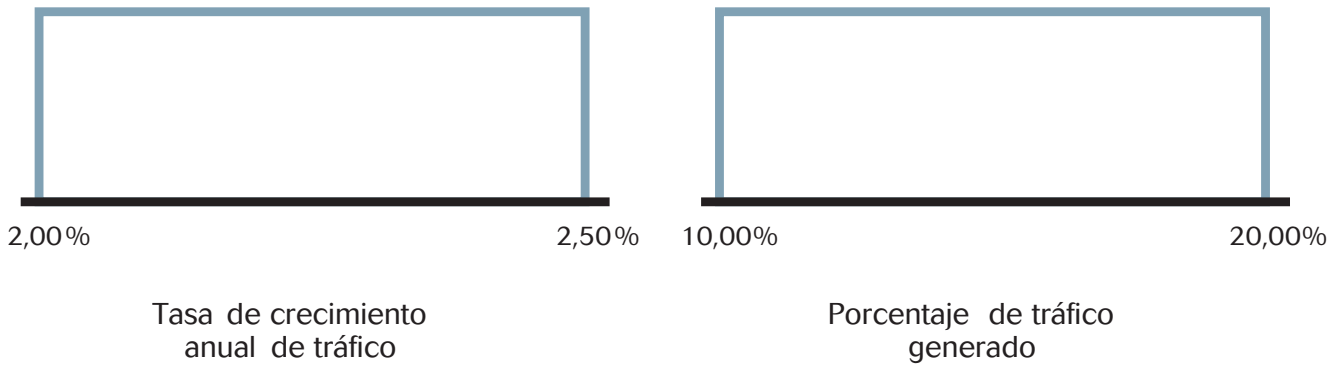
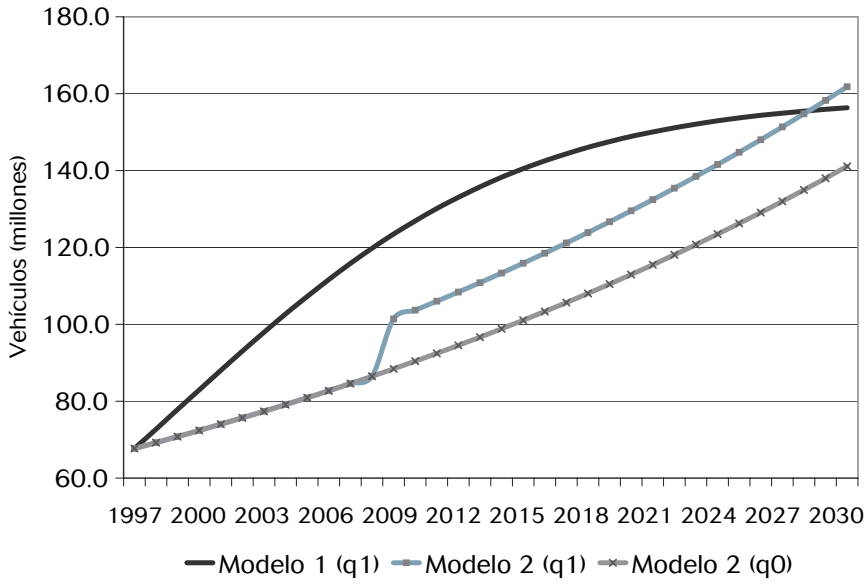


Figura 5.7. Comparación de predicciones de demanda



2. Los niveles de congestión de la vía se proporcionan de manera cualitativa, indicándose cuál es el nivel de servicio (desde nivel *A* hasta nivel *F*) de cada segmento en cada año *con* y *sin* proyecto. El nivel *A* corresponde a un estado de la vía sin congestión, mientras que el nivel *F* supone un incremento de hasta un 50% del tiempo de viaje con respecto al nivel *A*.

En el caso del **Modelo 2**, y de acuerdo con la **Figura 5.6**, debe observarse que la predicción de demanda realizada mediante la proyección lineal subestima la demanda correspondiente al estudio ENECON (2002), particularmente entre los años 2009 y 2020, por lo que durante estos años el tiempo de viaje *con* proyecto debería ser menor que en el caso del **Modelo 1**, debido a que considera que hay menos vehículos circulando. Esta diferencia se ha tenido en cuenta y se han ajustado a la baja los valores correspondientes al tiempo de viaje con proyecto (haciendo que el ahorro de tiempo $\tau^0 - \tau^1$ sea mayor), especialmente en los tramos más largos.

5.2.3. Métodos y resultados

Utilizando una tasa de descuento del 12% – empleada habitualmente por el BID –, los datos anteriores nos han permitido realizar dos evaluaciones económicas del proyecto de rehabilitación y duplicación de la carretera Florianópolis-Osório. La primera de ellas (**Modelo 1**) se basa en las predicciones de demanda incluidas en el *Estudio de Viabilidade Técnico-Econômica* realizado por ENECON (2002) e incluye como beneficios sociales netos en el cómputo del VAN social las siguientes partidas:

- Costes de construcción (–)
- Cambio en los costes de la infraestructura (operación y mantenimiento) (+)
- Ahorros de tiempo de viaje de los viajeros y mercancías finales (+)
- Ahorros de costes de operación de los vehículos (+)
- Ahorros de costes de los accidentes (+)

En el caso del **Modelo 2**, basado en nuestra predicción lineal de demanda y donde se distingue explícitamente entre el tráfico *con* y *sin* proyecto, hemos optado por emplear directamente la aproximación basada en el cambio en las disposiciones a pagar y en los recursos utilizados por el proyecto (véase Capítulo 2 del *Manual*). De acuerdo con ella, incluimos en el cálculo del *VAN* los siguientes beneficios (+) y costes (–):

- Costes de construcción (–)
- Cambio en los costes de la infraestructura (operación y mantenimiento) (+)
- Ahorros de tiempo de los viajeros y mercancías iniciales (+)
- Ahorros de costes de operación de los vehículos iniciales (+)
- Disposición a pagar neta de los nuevos viajes y mercancías transportadas (+)
- Ahorros de costes de los accidentes (+)

Metodológicamente, ambos modelos son similares, pero no proporcionan necesariamente el mismo resultado ya que se basan en predicciones de demanda diferentes, por lo que en el caso del **Modelo 2** ha sido necesario incrementar el ahorro de tiempo de viaje, tal como se ha indicado anteriormente. Además, el cálculo de los costes de operación de los vehículos nuevos no ha sido posible debido a que esta información se presenta de forma agregada en ENECON (2002).[113]

El valor del tiempo: discusión

Para el cálculo del valor del tiempo de viaje la aproximación utilizada aplicando la metodología propuesta en este *Manual* difiere del método empleado en ENECON (2002). En particular, nuestro análisis distingue tres tipos de valores del tiempo diferentes (viajeros, conductores y entrega de la carga) y dentro del primero distingue entre quienes viajan por motivos de trabajo y quienes lo hacen por motivos de ocio. Los cálculos se han realizado de la manera siguiente:

1. *Valor del tiempo de los viajeros*. Para los viajeros en automóvil este valor ha sido calculado a partir del salario medio por hora (proporcionada por ENECON, 2002, con referencia a julio de 2001) de los viajeros en automóvil, teniendo en cuenta que el factor de ocupación es de 1,88 viajeros por vehículo. A quienes se desplazan por motivo de trabajo (53% del total) se les imputa el 100% del salario, mientras que a quienes lo hacen por otros motivos (47%) se les hace corresponder un factor de ajuste aleatorio distribuido uniformemente entre el 25% y el 40% que multiplica al salario.[114] **El resultado de este promedio es de 5,48 dólares** de 2001 (13,52 reales) por automóvil, casi el doble del valor utilizado en ENECON (2002), debido a que este estudio no incluye a los viajeros por motivos de ocio.

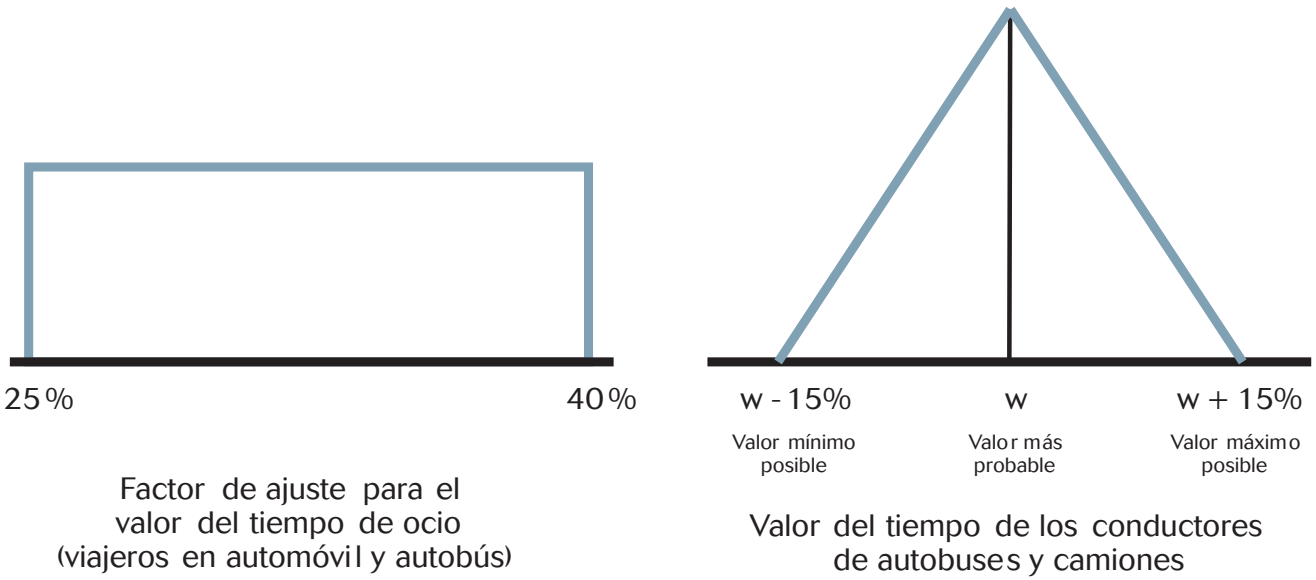
   El valor del tiempo de los viajeros en autobús se ha calculado de manera similar, a partir de un salario medio por hora de 1,45 dólares y un factor de ocupación de 24,6 viajeros por vehículo. A quienes viajan en autobús por motivos de trabajo (23,5% del total) se les imputa de nuevo el 100% del salario, mientras que a quienes lo hacen por otros motivos (76,5%) se les aplica de nuevo un factor de ajuste aleatorio distribuido uniformemente entre el 25% y el 40%. El valor del tiempo resultante es de 17,25 dólares de 2001 por autobús (42,56 reales). Este valor es cuatro veces superior al utilizado en ENECON (2002), debido de nuevo a la omisión en este estudio de los viajeros por motivos de ocio.

2. *Valor del tiempo de los conductores*. A diferencia de ENECON (2002), en nuestro análisis el valor del tiempo (salario) de los conductores de autobuses y camiones **no forma parte del coste de operación de los vehículos**. Lo que hacemos es considerar que los valores de salario proporcionados por dicho estudio (denotados por w) se distribuyen de manera triangular en el intervalo $w \pm 15\%$, lo cual genera valores medios de 3,63; 1,85; 2,72 y 2,72 dólares respectivamente para los conductores de autobuses, camiones de 2 ejes, camiones de 3 ejes y camiones articulados.

3. *Valor del tiempo de entrega de la carga*. Finalmente, los valores del tiempo de entrega de la carga por hora y vehículo fueron 0,03; 0,11 y 0,23 dólares de 2001 para cada uno de los tres tipos de camiones considerados (2 ejes, 3 ejes y articulados). Debido a su menor repercusión en el VAN se optó por mantener el valor proporcionado por ENECON (2002).

[113] Al calcular la disposición total a pagar de los nuevos viajeros y mercancías hemos omitido los costes de operación unitarios de los vehículos (z). El sesgo que se deriva de esta simplificación no afecta a las conclusiones obtenidas.
[114] Estos porcentajes son compatibles con la información proporcionada en el **Capítulo 4** de este *Manual*. Véase **Figura 5.8**

Figura 5.8. Distribuciones de probabilidad en el cálculo del valor del tiempo



Finalmente, debe observarse que los valores del tiempo anteriores corresponden a las estimaciones para julio de 2001. Considerando una elasticidad unitaria con respecto al crecimiento de la renta del país, todos estos valores fueron proyectados en los años sucesivos a las mismas tasas de crecimiento del PIB per cápita.

Resultados de la evaluación

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el **Cuadro 5.13** resume finalmente los principales beneficios y costes del proyecto calculados por cada uno de los dos métodos alternativos analizados, comparándose además con el resultado original obtenido por ENECON (2002). El análisis se ha realizado para el horizonte temporal 2005-2030 y todos los valores monetarios, expresados en términos reales, están actualizados a millones de dólares de 2005.

El cuadro anterior muestra que en los dos modelos alternativos analizados el *VAN* social esperado es positivo, siendo nula la probabilidad de obtener un *VAN* <0, tal como confirman las distribuciones representadas en la **Figura 5.9**. Las diferencias entre ambos modelos radican en tres elementos:

1. Los ahorros de tiempo, que son menores en el **Modelo 2** debido a que éste subestima la demanda en los años centrales del proyecto en relación al **Modelo 1**. Aunque la velocidad de circulación aumenta al disminuir la demanda, los ahorros de tiempo no compensan el menor número de vehículos afectados.

2. El cambio en la disposición a pagar y el valor del tiempo de los nuevos viajeros y mercancías, ya que en el **Modelo 1** se utiliza la hipótesis de matriz fija y, por tanto, no hay tráfico generado por el proyecto.

3. Los ahorros de costes operativos, que en el caso del **Modelo 2** están ligeramente sobreestimados debido a que, por falta de información sobre costes unitarios, no hemos descontado los costes operativos del tráfico generado (véase nota 19) sino sólo el valor del tiempo. Para evitar la doble contabilización en ambos casos se ha deducido de las cifras de coste operativo proporcionadas por ENECON (2002) los ahorros de tiempo de viaje de los conductores. Por esta razón, la suma de costes operativos y dichos ahorros proporciona el mismo valor en ambos modelos.

Cuadro 5.13. Beneficios sociales esperados del proyecto (valores descontados en dólares de 2005)

	Modelo 1	Modelo 2
(-) Costes de construcción	-739.264.800	-739.264.800
(+) Cambios en los costes de la infraestructura	1.837.878	1.837.878
En costes de mantenimiento anuales	-3.551.787	-3.551.787
En costes de mantenimiento periódicos	5.389.665	5.389.665
(+) Ahorros de tiempo	1.046.913.647	820.757.202
Viajeros (automóviles y autobuses)	779.295.002	617.178.145
Conductores (autobuses y camiones)	254.676.739	201.499.918
Entrega de carga (camiones)	12.941.906	2.079.138
(+) Ahorros de costes operativos	919.817.368	972.994.189
(+) Cambio en disposición a pagar (nuevos viajeros y mercancías)		311.058.463
Viajeros (automóviles y autobuses)	(*)	233.661.297
Conductores (autobuses y camiones)	(*)	73.656.409
Entrega de carga (camiones)	(*)	3.740.757
(-) Valor del tiempo (nuevos viajeros y mercancías)		-250.257.396
Viajeros (automóviles y autobuses)	(*)	-188.391.507
Conductores (autobuses y camiones)	(*)	-58.876.464
Entrega de carga (camiones)	(*)	-2.989.425
(+) Ahorros en los costes de accidentes	213.218.648	213.218.648
VAN social esperado	1.442.522.741	1.330.344.185

Notas: El **Modelo 1** replica con algunas variaciones la metodología utilizada en ENECON (2002), mientras que el **Modelo 2** utiliza una predicción lineal de la demanda. Los valores señalados con (*) son iguales a cero, debido a que el **Modelo 1** utiliza la hipótesis de matriz fija.

5.2.4. Discusión

El proyecto evaluado supone una inversión cercana a los 1.100 millones de dólares (2005) para la rehabilitación y duplicación de 338 kilómetros de la carretera BR-101 entre Florianópolis y Osório. Con un coste aproximado de 3 millones de dólares por kilómetro de carretera se consiguen ahorros en los costes de mantenimiento de la infraestructura, en los costes operativos de los vehículos, en tiempo y en accidentes en cuantías que permiten alcanzar un valor actual neto del proyecto positivo de un importe superior a la inversión realizada, y esto se alcanza descontando los flujos de beneficios netos a una tasa del 12%.

Con la introducción de variables aleatorias para el valor del tiempo, tasas de crecimiento de la demanda y del tráfico generado se obtiene un resultado robusto en el que la probabilidad de obtener valores negativos para la rentabilidad social del proyecto es nula. Se trata de un proyecto cuya alta rentabilidad social se basa en una demanda elevada con crecimiento sostenido y ahorros excepcionales en los costes operativos y en los accidentes.

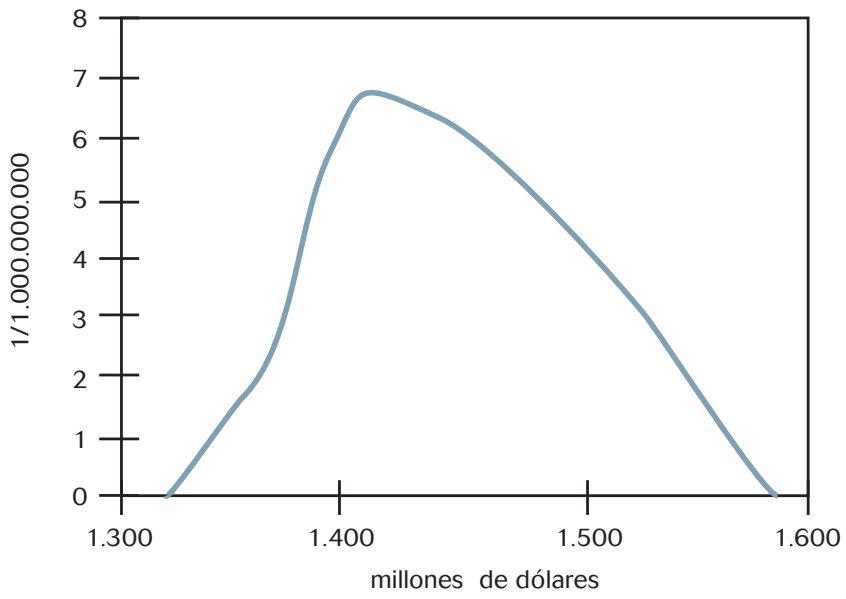
Aunque no se ha podido realizar una evaluación financiera bajo el supuesto de la introducción de una concesión con cobro de peaje, sería interesante examinar esta opción en la evaluación, y no sólo como una manera

de aumentar la eficiencia productiva y obtener financiación del proyecto, sino también con el fin de evaluar los efectos sobre el tráfico y el *VAN* social de introducir tasas de congestión en los tramos y horas con mayor presión sobre la capacidad disponible.

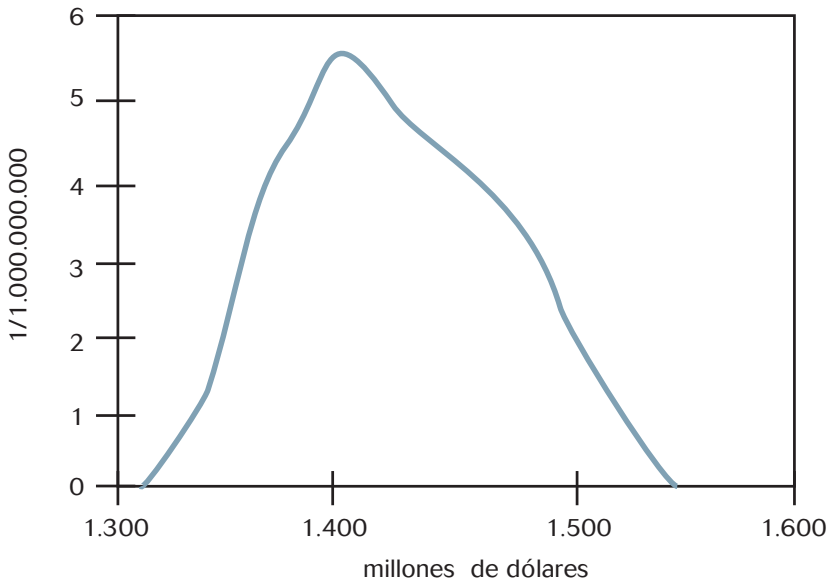
En esta evaluación no se incluyen ni los costes medioambientales ni los beneficios indirectos del proyecto. Sobre los segundos, cabe recordar aquí que, en general, una buena parte de los efectos denominados indirectos son doble contabilización y que también existen efectos indirectos negativos. Si suponemos razonablemente que el saldo es positivo en el caso de esta carretera, estaríamos subestimando la rentabilidad del proyecto.

En el caso de los costes medioambientales, esta primera evaluación no los contempla. En cualquier caso, disponemos un margen de 1.200 millones de dólares para actuaciones que mitiguen posibles daños reversibles o como compensación real o hipotética de otros impactos negativos irreversibles cuya valoración monetaria resultara factible.

Figura 5.9. Distribuciones de probabilidad del VAN social



Modelo 1



Modelo 2

Cuadro 5.14. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto (Modelo 1)

	(-) COSTES DE CONSTRUCCIÓN	(+) TOTAL CAMBIOS COSTES INFRAESTRUCTURA	(+) TOTAL AHORROS DE TIEMPO	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES OPERATIVOS	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES ACCIDENTES	BENEFICIOS SOCIALES NETOS
2005	-739.264.800					-739.264.800
2006						0
2007						0
2008						0
2009		-659.879	155.747.393	269.579.593	35.081.750	459.748.858
2010		-659.879	159.269.068	297.582.280	35.966.309	492.157.779
2011		-659.879	163.227.789	273.633.001	36.941.855	473.142.767
2012		-659.879	168.107.362	183.331.708	37.835.109	388.614.300
2013		-659.879	177.961.747	172.101.100	38.660.518	388.063.486
2014		-659.879	183.379.009	122.485.670	39.355.807	344.560.607
2015		-659.879	193.330.373	90.335.228	40.105.941	323.111.663
2016		12.249.012	202.255.246	44.519.077	40.677.044	299.700.380
2017		-659.879	212.531.350	34.718.469	41.215.068	287.805.008
2018		-659.879	222.480.610	85.459.028	41.760.786	349.040.545
2019		-659.879	226.438.584	95.867.733	42.210.886	363.857.323
2020		-659.879	228.434.420	104.696.395	42.588.461	375.059.397
2021		-659.879	231.344.166	114.325.647	42.942.992	387.952.926
2022		-659.879	235.160.400	124.699.471	43.312.861	402.512.853
2023		12.249.012	245.509.249	134.417.488	43.581.421	435.757.170
2024		-659.879	246.857.961	146.506.600	43.854.636	436.559.317
2025		-659.879	253.720.388	155.285.416	44.138.270	452.484.196
2026		-659.879	264.394.528	155.729.010	44.377.960	463.841.619
2027		-659.879	274.944.160	153.129.502	49.167.357	476.581.140
2028		-659.879	286.251.960	150.331.992	49.263.023	485.187.096
2029		-659.879	297.891.855	147.452.323	49.335.523	494.019.822

Datos en dólares de 2005

Cuadro 5.15. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto (Modelo 2)

	(-) COSTES DE CONSTRUCCIÓN	(+) TOTAL CAMBIOS COSTES INFRAESTRUCTURA	(+) TOTAL AHORROS DE TIEMPO	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES OPERATIVOS	(+) TOTAL CAMBIO DAP NUEVOS	(-) TOTAL VALOR TIEMPO NUEVOS	(+) TOTAL AHORROS DE COSTES ACCIDENTES	BENEFICIOS SOCIALES NETOS
2005	-739.264.800							-739.264.800
2006								
2007								
2008								
2009		-659.879	120.402.550	277.824.384	36.507.963	-27.589.664	35.081.750	441.567.105
2010		-659.879	122.961.539	306.094.203	39.081.980	-29.973.794	35.966.309	473.470.359
2011		-659.879	126.042.373	282.414.225	41.785.377	-32.448.517	36.941.855	454.075.434
2012		-659.879	130.168.317	192.327.762	44.589.920	-34.947.135	37.835.109	369.314.095
2013		-659.879	138.088.246	181.553.416	47.302.938	-37.073.449	38.660.518	367.871.789
2014		-659.879	143.196.861	131.930.641	50.467.656	-39.860.298	39.355.807	324.430.787
2015		-659.879	151.909.495	100.062.789	53.538.297	-42.285.548	40.105.941	302.671.095
2016		12.249.012	160.274.755	54.343.162	56.860.912	-44.988.648	40.677.044	279.416.238
2017		-659.879	161.767.460	46.596.866	60.932.127	-48.949.093	41.215.068	260.902.549
2018		-659.879	171.165.462	97.450.665	64.672.363	-51.993.133	41.760.786	322.396.264
2019		-659.879	176.577.632	107.538.787	68.977.397	-55.896.840	42.210.886	338.747.983
2020		-659.879	180.816.515	115.854.278	73.655.680	-60.260.693	42.588.461	351.994.364
2021		-659.879	176.311.958	127.364.091	79.285.257	-66.223.357	42.942.992	359.021.062
2022		-659.879	181.930.505	137.345.944	84.487.115	-71.008.326	43.312.861	375.408.220
2023		12.249.012	192.999.839	146.859.291	89.627.628	-75.328.739	43.581.421	409.988.453
2024		-659.879	197.276.472	158.263.325	95.633.463	-81.017.131	43.854.636	413.350.887
2025		-659.879	206.313.718	166.498.759	101.671.579	-86.385.351	44.138.270	431.577.096
2026		-659.879	218.866.619	166.446.037	107.857.659	-91.641.360	44.377.960	445.247.035
2027		-659.879	231.907.339	163.195.978	114.440.600	-97.258.117	49.167.357	460.793.278
2028		-659.879	246.017.451	159.669.855	121.403.595	-103.175.665	49.263.023	472.518.380
2029		-659.879	260.986.075	155.929.189	128.790.245	-109.453.260	49.335.523	484.927.894

Datos en dólares de 2005

Un resultado interesante surge de la comparación de los resultados en el modelo 1 (una pequeña variación del trabajo de ENECON) y el **Modelo 2** (una aplicación de la metodología propuesta en el *Manual*). Los resultados son similares, y aunque si bien es cierto que parte de la información se toma del estudio de ENECON para el **Modelo 2**, puede afirmarse que con información básica facilitada por ingenieros de obras públicas sobre los costes operativos, velocidades de circulación en los tramos y conteos de tráfico es posible obtener resultados preliminares razonables en las condiciones de recursos técnicos y humanos limitados que asume este *Manual*.

5.3. El proyecto BRT-Metrovía en Managua

5.3.1. Introducción

El área metropolitana de Managua, el principal núcleo económico y social de Nicaragua, tiene en la actualidad una población aproximada de 1,5 millones de habitantes. Las necesidades de transporte y movilidad de esta población (2,3 millones de viajes diarios) son cubiertas mediante la prestación de servicios de autobús urbano e interurbano por operadores privados (lo que equivale aproximadamente a unos 800.000 viajes diarios) y el uso del taxi (con niveles de demanda cercanos a los 300.000 viajes al día), haciendo que globalmente los servicios de transporte público tengan un peso relativo del 47% en el reparto modal. El transporte a pie o en bicicleta, representa el 31% y el automóvil privado un 22%.

La importancia del transporte por autobús contrasta drásticamente con sus bajos niveles de calidad. La flota no sólo es muy antigua, con elevados niveles de emisión de CO2, sino también inapropiada, al tratarse en gran parte de autobuses de transporte escolar desechados previamente en EE.UU. Aunque algunos estudios detectan un exceso de oferta de aproximadamente el 25%,[115] el problema de congestión no es muy relevante y en algunas rutas actuales los autobuses viajan literalmente abarrotados.

Por otro lado, también la organización y el funcionamiento actual del mercado son mejorables. La regulación es casi inexistente y se encuentra muy fragmentada entre distintas instituciones. Existen numerosas subvenciones o exenciones fiscales, no siempre con la adecuada justificación. El sector se caracteriza por un alto grado de competencia, que algunos califican como destructiva, y elevados índices de conflictividad social.

La implantación de un sistema de transporte rápido por autobús (**BRT**, *Bus Rapid Transit*) se ha planteado como la mejor opción para solventar estos problemas. Las autoridades locales la valoran como una oportunidad para dotar a la ciudad de un modelo de transporte público que responda mejor a las necesidades de sus usuarios, al tiempo que permita introducir un nuevo esquema de regulación basado en criterios de eficiencia. El éxito del sistema en otras ciudades (como Curitiba, Guayaquil o Bogotá), junto al relativamente bajo volumen de inversión requerido, así como las positivas implicaciones medioambientales, se encuentran en el origen de la elección de este proyecto para Managua.

En esta sección realizaremos una evaluación económica de este proyecto partiendo de la información proporcionada por las autoridades nicaragüenses, y en particular por METROVÍA, como empresa promotora del proyecto. Por su impacto sobre la reducción de la contaminación a través de la sustitución de autobuses y la promoción de ciclovías, el proyecto también recibe el apoyo de la *Global Environmental Facility* (GEF) del Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP), a cuyos informes hemos accedido[116] y a los que en adelante nos referiremos como GEF/UNDP. Datos adicionales fueron proporcionados por el BID y en una breve visita de campo al país en abril de 2006.[117]

[115] Estos datos proceden de Ardila-Gómez, A. (2006). *Resumen técnico del sector de transporte urbano en Centroamérica y Panamá*. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, DC.
[116] *Promotion of Environmentally Sustainable Transport in Metropolitan Managua*. GEF Project ID 2801. http://www.gefonline.org
[117] Desde 1998 existe numerosa información relacionada con el proyecto. Agradecemos particularmente la colaboración de Néstor Roa (BID) y del personal de Metrovía en el acceso a todos estos datos.

5.3.2. Características del proyecto

Desde un punto de vista técnico, los sistemas de transporte rápido por autobús se diferencian de la operación convencional del transporte urbano en tres elementos. En primer lugar, en la mayoría de los casos los autobuses circulan por carriles de uso exclusivo (*busway*). En segundo lugar, el pago de la tarifa se produce con anterioridad a la entrada al autobús (de forma similar a lo que sucede en los sistemas de transporte metropolitano). Finalmente, el acceso de los viajeros a los autobuses se produce a través de plataformas de acceso exclusivo separadas físicamente de las paradas convencionales.

Las características anteriores requieren la realización de obras de infraestructura para adaptar las calles a los carriles (separados) del autobús, así como la construcción de las paradas, andenes y accesos para facilitar el movimiento rápido de viajeros. En estas condiciones los servicios pueden ser operados por autobuses de mayor capacidad y velocidad, reduciéndose tanto los tiempos de viaje como los de espera.

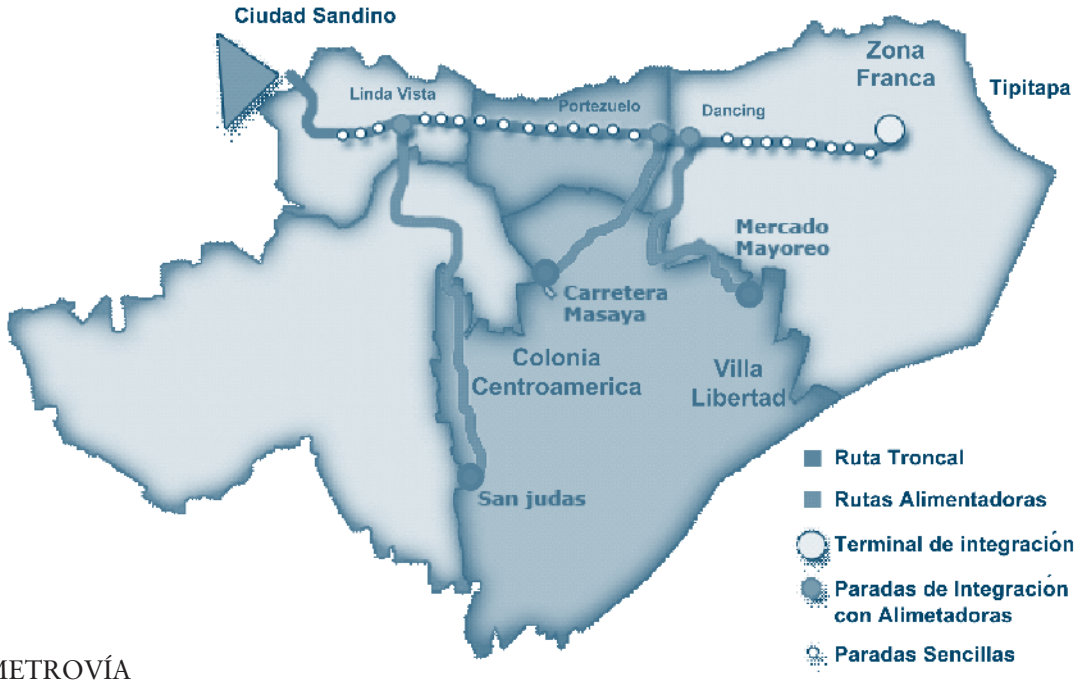
Costes de inversión

Aunque el proyecto BRT de Managua se ha planteado en tres fases, el análisis realizado en esta sección se centra únicamente en la primera, la más desarrollada a nivel técnico. La *Fase I* se refiere al denominado *Corredor Norte*, que se extiende desde el este (Zona Franca) a oeste de la ciudad (Municipio de Ciudad Sandino) a lo largo de 22 kilómetros. Tal como muestra la **Figura 5.10**, sobre esta ruta troncal se establecerían 25 paradas sencillas, dos terminales para el trasbordo entre servicios interurbanos y urbanos en los extremos del corredor, así como tres terminales intermedias (Linda Vista, Dancing y Portezuelo) para la incorporación de viajeros desde y hacia las tres rutas alimentadoras que confluyen sobre la troncal. El resto de rutas del transporte urbano, situadas en otras zonas de la ciudad, no se verían afectadas inicialmente.

Inversión y calendario de ejecución

Desde el punto de vista del análisis realizado en esta sección se ha considerado conveniente distinguir entre **inversiones en infraestructura** (viarias y administrativas) realizadas por el sector público, que incluirían tanto las obras civiles[118] como el equipamiento institucional de los nuevos entes reguladores y gestores del sistema,

Figura 5.10. Estructura del sistema BRT de Managua



Fuente: METROVÍA

[118] Al contrario que en otras ciudades y debido a las consecuencias del terremoto de 1972 que asoló el centro de la ciudad, no sería necesario acometer grandes modificaciones urbanísticas para realizar estas obras, siendo actualmente la mayoría de las calles de ancho suficiente para incorporar el carril exclusivo y las paradas.

e **inversiones en autobuses** realizadas por los nuevos operadores privados, debido a que la flota actual sería reemplazada por vehículos con características técnicas más adecuadas al *busway*, con el fin de obtener el máximo provecho de éste.

Las inversiones en infraestructura se realizarían en **2008**, fecha que se ha utilizado como referencia para la evaluación económica del proyecto, y éste estaría operativo desde 2009 hasta 2030. Además de la inversión inicial en autobuses (realizada en 2009), serían necesarias inversiones en vehículos cada seis años (2015, 2021 y 2027), tanto para renovar la flota como para acomodar el incremento de la demanda.

En términos monetarios, y según el presupuesto establecido en los informes GEF/UNDP, en junio de 2006 el importe total del proyecto se estimaba en **64.465.000 dólares**, incluyendo todas las aportaciones públicas y privadas a desembolsar al comienzo del mismo. Esta cantidad incluía la implementación de la *Fase I* del BRT, la construcción de ciclovías y diversos objetivos institucionales secundarios, como la promoción del transporte público y la mejora de los sistemas de gestión de tráfico, la monitorización de resultados, etc.

De acuerdo con la información complementaria proporcionada por METROVÍA, del importe anterior la inversión total en infraestructura ascendería únicamente a **41.210.000 dólares**, mientras que la cantidad correspondiente a la adquisición inicial de nuevos vehículos sería de **19.700.000 dólares**.[119] Además, las inversiones diferidas en renovación de la flota (no incluidas en GEF/UNDP), ascenderían adicionalmente a **30.600.000 dólares**.[120] Todas estas cantidades han sido actualizadas a dólares de 2008 (estimando una tasa de inflación del 10% para 2006 y 2007) y multiplicadas por un factor de precio-sombra de 0,8 para incorporar el coste de oportunidad de los recursos. Finalmente, y debido a la incertidumbre asociada al proyecto, se ha considerado una posible desviación al alza de los costes presupuestados, representada por una variable aleatoria distribuida uniformemente entre 0% y 20%. El cuadro siguiente resume los valores finalmente utilizados.[121]

Cuadro 5.16. Distribución temporal de los costes de inversión

Concepto	Año de inversión	Importe (en dólares de 2008)
Inversión en infraestructura	2008	43.880.408
Inversión en vehículos		53.559.440
Inicial	2009	20.976.560
Renovación 1	2015	9.737.412
Renovación 2	2021	10.486.444
Renovación 3	2027	12.539.023
Importe total		97.439.848

Fuente: Elaboración a partir de GEF/UNDP y METROVÍA. Los datos incluyen la desviación esperada en costes y el factor de ajuste de los precios-sombra.

Costes de operación del sistema BRT

Costes de operación de los autobuses

Una vez realizada la inversión inicial en infraestructura y vehículos, la mayor parte de los costes del sistema BRT corresponden a la operación de los autobuses por parte de los nuevos operadores. Estos costes depen-

[119] La diferencia entre la suma de estas dos cantidades y el importe inicial de 64.465.000 dólares corresponde a objetivos secundarios del proyecto GEF/UNDP que no han sido incorporados en nuestro análisis.

[120] Esta cantidad ha sido distribuida proporcionalmente en función del número de autobuses adquirido cada año, de acuerdo con el **Cuadro 5.17**.

[121] No se han calculado los valores residuales de ambas inversiones por la dificultad de asignar un valor de la infraestructura al final de la vida económica del proyecto y porque al descontar con el 12%, los valores residuales no afectarían significativamente a los resultados finales.

Cuadro 5.17. Flota de autobuses requerida para operar el sistema BRT

Tipo de autobús por ruta	Año inicial 2009	Renovación 1 2015	Renovación 2 2021	Renovación 3 2027
Rutas troncales				
Autobuses articulados (180 plazas)	66	77	88	102
Autobuses convencionales (80 plazas)	33	38	44	51
Rutas alimentadoras				
Autobuses convencionales (50 plazas)	58	68	79	91
Total autobuses necesarios	157	183	211	244

Fuente: METROVÍA.

den fundamentalmente de la composición y las características de la flota a partir de 2009. El **Cuadro 5.17** resume las estimaciones realizadas por METROVÍA teniendo en cuenta las diferentes necesidades de las rutas troncales y alimentadoras. Las cifras propuestas contemplan una adquisición inicial de 157 vehículos (que reemplazarían a los 310 autobuses que actualmente prestan servicio en las rutas afectadas por el BRT) y, a partir de ahí, un aumento progresivo de la flota disponible para cubrir la demanda futura y hacer frente a las renovaciones.

Para cada uno de los tres tipos de autobuses reflejados en el cuadro anterior disponemos de estimaciones desagregadas del coste de operación anual unitario, incluyendo como partidas principales tanto los gastos en combustibles y repuestos como los salarios de los conductores y los gastos generales. Debido a que existen revisiones técnicas y reparaciones de carácter anual y plurianual, el importe de este coste varía a lo largo de la vida útil del vehículo (estimada en 12 años) por lo que en el **Cuadro 5.18** se ha optado por presentar únicamente el importe medio anual. Los costes totales de operación de los autobuses se obtienen multiplicando los datos anuales en los que se basa el **Cuadro 5.18** por la composición de la flota descrita en el **Cuadro 5.17**.

Otros costes

Costes de mantenimiento de la infraestructura y de administración

Junto con los costes de los vehículos que operarán el nuevo sistema de transporte, existen costes asociados al mantenimiento de las infraestructuras y al propio funcionamiento del sistema regulatorio y de operación. La introducción del BRT se considera como una oportunidad para cambiar el actual marco de relaciones entre un conjunto de operadores (privados) y varias entidades públicas que supervisan y subvencionan al sector. De hecho, el proyecto contempla la creación de un organismo centralizado de regulación, probablemente a partir del actual *Instituto para la Regulación del Transporte en el Municipio de Managua* (IRTRAMMA),

Cuadro 5.18. Coste medio anual de operación y mantenimiento

Tipo de autobús	Coste medio anual por vehículo (en US$ 2008)
Autobús articulado (180 plazas)	91.967
Autobús convencional (80 plazas)	65.839
Autobús convencional (50 plazas)	48.209

Fuente: Elaboración a partir de los datos proporcionados por METROVÍA. Los datos ya incluyen el ajuste económico para reflejar el precio-sombra de los factores de producción.

que unifique las competencias administrativas en lo relativo al acceso de los nuevos operadores al servicio (licencias) y las condiciones técnicas y económicas del mismo. Está prevista además la introducción de un ente recaudador independiente que recaude directamente los ingresos del sistema y los reparta entre las distintas operadoras privadas.

Estos organismos, concebidos sin ánimo de lucro, así como el mantenimiento de la infraestructura, se financiarán a través de dos cánones incorporados a las tarifas (denominados *cuota de infraestructura* y *cuota de administración y regulación*) que, en última instancia, pagan los usuarios del transporte. Por ello resulta razonable asumir que dichos costes se compensen con los ingresos procedentes de estos cánones.

Costes medioambientales y otros costes

Tal como se ha indicado, una de las razones que justifica el apoyo externo del GEF/UNDP al proyecto BRT es que éste se incluye dentro de un programa más amplio denominado *Promotion of Environmentally Sustainable Transport in Metropolitan Managua*, cuyo objetivo es lograr una reducción directa de emisiones de CO2 equivalente a 892.000 toneladas a lo largo de 20 años (cifra que podría incrementarse en 1.713.000 toneladas adicionales si la experiencia tiene éxito y se extiende a otros corredores de la ciudad y a otras ciudades). El valor económico de esta reducción de costes medioambientales se estimó en **4.228.080 dólares** en 2008 (GEF/UNDP).

Por último, y dadas las dificultades de predecir el equilibrio final de transporte público y privado, no se incorporan en la evaluación los posibles efectos del proyecto BRT sobre la congestión y los accidentes. Las experiencias anteriores de otras ciudades sugieren que los resultados de los sistemas de transporte rápido sobre estas variables pueden tener diversos signos y magnitudes, pero en general no constituyen el principal beneficio ni coste social del proyecto (véase Ardila, 2006, op. cit. en nota 21).[122]

Predicción de demanda

La presentación de las características del proyecto se completa finalmente con una breve descripción de los supuestos utilizados en nuestro análisis para predecir la demanda esperada de viajeros del sistema BRT en el período 2009-2030 o, alternativamente, cuál sería dicha demanda de transporte urbano si el proyecto no fuese llevado a cabo.

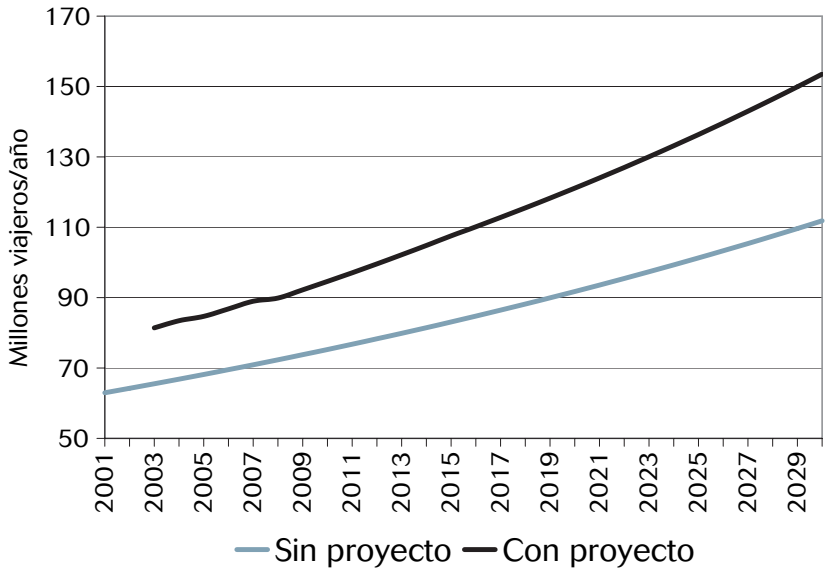
Al igual que en los estudios de viabilidad anteriores,[123] esta predicción se basa en la proyección lineal de los datos iniciales del número de viajeros transportados anualmente en el corredor afectado por el proyecto. Partiendo de la situación *sin proyecto*, hemos identificado las rutas actuales que serían reemplazadas por las nuevas rutas, troncales y alimentadoras, y obtenido su volumen de demanda en 2001 (último dato desagregado disponible). A partir de aquí, y siguiendo las indicaciones proporcionadas por METROVÍA, estos valores se han proyectado hasta 2030 considerando una tasa de crecimiento anual del 2%, como muestra la **Figura 5.11**.

La figura anterior también muestra la evolución de la demanda total esperada *con proyecto*. En este caso, hemos partido de los estudios anteriores, donde se presenta de manera desagregada y proyectada entre los años 2003 y 2025, la demanda diaria estimada para cada una de las rutas troncales y alimentadoras, así como los principales parámetros de operación de cada una de estas rutas. Ante la incertidumbre asociada a cualquier predicción de demanda, se ha optado por utilizar como dato de partida el número de viajeros estimado para el año 2003 y proyectarlo con distintas tasas en tres tramos temporales diferentes: entre 1998 y 2009 se ha usado una tasa no aleatoria del 2,5% (la misma empleada en los estudios anteriores); entre 2009 y 2015 se ha optado por una tasa aleatoria distribuida triangularmente entre 2,1% y 3,1%, mientras que entre 2015 y 2030 la tasa de crecimiento sigue una distribución triangular entre 1,8% y 3,0%. Estas tasas, resumidas en la **Figura 5.12**, son compatibles en términos esperados con las tasas (no aleatorias) usadas en los otros estudios.

[122] Tampoco se incorpora en el análisis de otros efectos indirectos, tales como el posible efecto de la reorganización regulatoria del sector sobre su actual nivel de conflictividad social, caracterizado por frecuentes huelgas e interrupciones de servicio que disminuyen globalmente su fiabilidad.

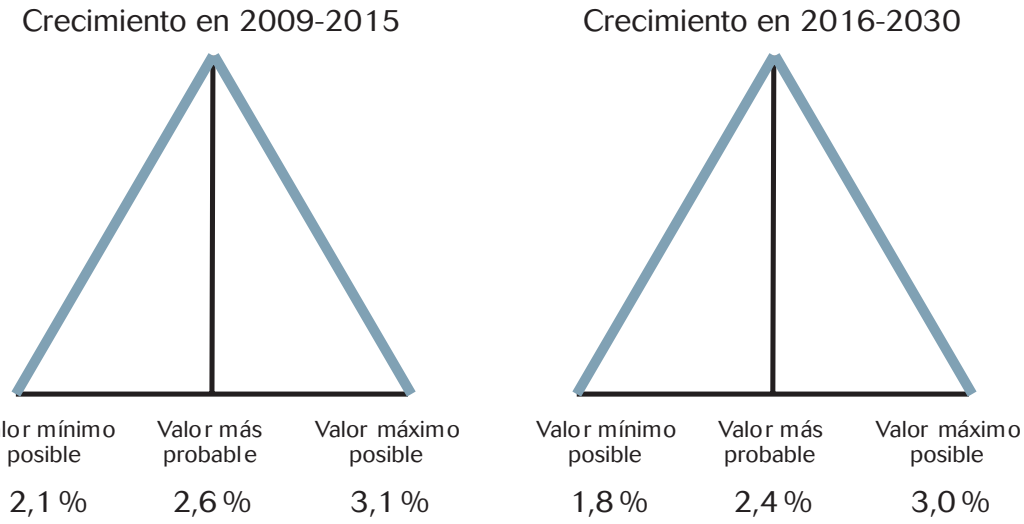
[123] En particular, el "Estudio de Factibilidad del Sistema del Tranvía Municipal o Busway de Managua", realizado por EPYPSA-CORASCO en 2001 y la "Consultoría para la Actualización de los Estudios y Diseños del Busway", realizado por AKIRIS DE COLOMBIA, S.A. en 2004.

Figura 5.11. Proyección de la demanda con y sin proyecto



Fuente: Elaboración a partir de los datos proporcionados por METROVÍA y otros estudios

Figura 5.12. Tasas de crecimiento de la demanda



Cálculo de los ahorros de tiempo

El proyecto analizado en esta sección compara dos situaciones no totalmente homogéneas entre sí: la implementación de un nuevo sistema de transporte con nuevas rutas (troncales y alimentadoras) y un nuevo sistema de gestión, frente a la existencia del sistema actual, cuyas rutas no tienen la misma definición ni características operacionales de las rutas del BRT. Esto hace que resulte extremadamente difícil, con la información disponible, realizar un estudio de ahorros de tiempo a nivel desagregado por ruta, comparando cuanto se tardaría en cada trayecto concreto *con* y *sin* proyecto, además de conocer cuántos viajeros realizan concretamente cada trayecto.[124]

[124] Este tipo de análisis debería realizarse con ayuda de las propias empresas de transporte, recorriendo las nuevas rutas con los autobuses antiguos y viceversa. Además, sería necesario disponer de una estimación detallada de cuántos viajeros suben y bajan en cada una de las paradas, tanto en la actualidad como con el nuevo sistema.

Cuadro 5.19. Tiempos de viaje con y sin proyecto para un viajero medio

	Trayecto completo (horas)	Porcentaje de viajeros que hacen trayecto completo (θ)	Mitad del trayecto (horas)	Porcentaje de viajeros que hacen mitad del trayecto (1–θ)	Tiempo medio de viaje (horas)
SIN proyecto	0,98	63,33%	0,49	36,67%	0,80
CON proyecto	0,58	63.33%	0,29	36,67%	0,47
Ahorro de tiempo					0,33

Fuente: Elaboración propia.

Por esta razón hemos optado por realizar el cálculo de los tiempos totales de viaje tomando como referencia **un viajero medio** de una ruta de autobús que realiza un recorrido completo en un solo sentido (sólo ida o sólo vuelta). Para la situación *sin proyecto* hemos realizado este cálculo para cada una de las rutas actuales afectadas por el proyecto BRT, agregando posteriormente los tiempos medios en función de la longitud relativa de cada ruta. De la misma forma, para la situación *con proyecto*, hemos realizado el mismo cálculo para todas las rutas troncales y todas las alimentadoras, agregándolas igualmente. Finalmente, y dado que no tenemos información completa sobre los trayectos medios de los viajeros, se ha considerado que un porcentaje aleatorio θ de estos (donde θ sigue una distribución triangular entre 50- 70%) realiza la totalidad del trayecto, mientras que el resto, (1– θ), sólo hace el 50% del recorrido.[125] Los tiempos medios calculados de acuerdo con este procedimiento se resumen en el cuadro siguiente.

En términos agregados, puede concluirse que el proyecto supone un ahorro de tiempo equivalente a **0,33 horas** (20 minutos) para un usuario medio de las rutas de autobús del Corredor Norte (y alimentadoras) afectadas por el BRT.

5.3.3. Métodos y resultados

Utilizando una tasa de descuento del 12% – empleada habitualmente por el BID –, los datos anteriores nos han permitido realizar la evaluación económica y financiera del proyecto de implementación del BRT en la ciudad de Managua. La evaluación financiera resulta necesaria en este caso debido a que los inversores privados desempeñan un papel fundamental en el proyecto, tanto en lo que se refiere a la inversión en adquisición de autobuses como en la operación de los mismos a lo largo del período de tiempo 2009-2030 considerado en el análisis.

Por otra parte, la realización de esta doble evaluación aconseja utilizar para el cálculo del *VAN* social la aproximación basada en la variación de los excedentes de los agentes afectados por el proyecto, ya que permite una mejor comparación con el *VAN* financiero. En particular hemos identificado cinco tipos de agentes principales cuyos excedentes deberíamos considerar de manera detallada:

1. Operadores privados del sistema de transporte (actuales *vs*. futuros)

2. Usuarios del transporte público de Managua en rutas afectadas por el BRT

3. Usuarios del transporte público de Managua en otras rutas de autobús

[125] Esta distribución concuerda con la información disponible para las rutas de mayor longitud, en las que la mayoría de los viajeros realizan trayectos medios relativamente largos.

4. Usuarios de otros modos de transporte

5. Contribuyentes

Excedente de los operadores

Tanto en la situación con proyecto como sin él, el excedente de los operadores viene determinado por la diferencia entre sus ingresos (incluyendo en su caso las subvenciones) y sus costes. Con respecto a los ingresos, en la actualidad, la tarifa media por viaje está establecida en 2,5 córdobas, que equivalen a **0,175 dólares valorados en 2008**. Existe cierta incertidumbre con respecto a la tarifa futura, aunque se ha determinado que ésta debe ser suficiente para cubrir los costes de los operadores más los cánones y cuotas correspondientes. A partir de la información disponible, y teniendo en cuenta la dificultad que conllevaría un incremento excesivo de tarifas, hemos considerado razonable representar la tarifa media futura por una variable aleatoria distribuida triangularmente entre 3 y 3,5 córdobas (donde 3 es el valor más probable), lo cual equivale en términos esperados a **0,210 dólares de 2008** (es decir, un incremento del 20%). A los ingresos resultantes de multiplicar estas tarifas por la demanda estimada (véase **Figura 5.11**) deben deducirse los costes de operación ya discutidos en apartados anteriores.

Además de estos ingresos comerciales los operadores actuales de las rutas afectadas por el proyecto están recibiendo una subvención cuyo importe anual hemos estimado, en promedio, en 1.250.000 dólares,[126] calculado a partir del importe global recibido por el sistema, el cual ha sido distribuido proporcionalmente en función del número de viajeros afectados por el BRT. Tras la ejecución del proyecto esta subvención desaparece.

Finalmente, los costes de operación estimados para los futuros operadores del sistema, una vez realizado el proyecto, ya han sido descritos con anterioridad. Con relación a los operadores actuales, no disponemos de suficiente información sobre los costes de operación. Por esta razón hemos optado por considerar que estos son iguales a los ingresos, haciendo que cubran costes y que su único excedente sea la subvención que perciben actualmente.

Excedente de los usuarios del sistema

El excedente de los usuarios del transporte público de Managua en las rutas afectadas por el proyecto BRT se calcula a partir de la "regla de la mitad":

$$EC = 0{,}5 \cdot (g^0 - g^1) \cdot (q^0 + q^1)$$

donde los superíndices 0 y 1 representan las situaciones *sin* y *con* proyecto, q es la demanda y g el precio generalizado, definido por como $g = p + v\tau$. En este caso, τ es el tiempo de viaje y p es la tarifa final pagada por los viajeros; tarifa que incluye, en el caso con proyecto, tanto la *cuota de infraestructura* como la *cuota de administración y regulación*, valoradas respectivamente a **0,032 y 0,041 dólares de 2008**, pero que no forman parte del ingreso del operador.

Con respecto al valor del tiempo (v), al no existir estimaciones propias para el país, aunque sí informaciones sobre salarios, éste ha sido calculado de la siguiente manera:

1. Hemos partido del *salario mínimo* oficial vigente en 2006 (en dólares por hora) en distintos sectores de actividad (agricultura, industria, comercio, construcción y otros servicios) y hemos calculado un promedio en función de la distribución porcentual del empleo entre estos sectores en la ciudad de Managua; el resultado ha sido de **0,331 dólares** valorados en 2008. A continuación, hemos recurrido a la información proporcionada por la Organización Internacional del Trabajo (www.ilo.org) para obtener una aproximación al salario medio por hora en Nicaragua, obteniendo una cifra de **0,774 dólares** de 2008.

2. A partir de de estos datos, hemos considerado que el valor del tiempo de viaje para quienes lo hacen por motivos de trabajo es una variable aleatoria distribuida triangularmente entre 0,331 y 0,774 dólares por hora (donde 0,331 es el valor más probable), mientras que el valor del tiempo de viaje para quienes lo

[126] El GEF/UNDP estima una subvención anual para todo el transporte público en Managua de 5 millones de dólares.

hacen por otros motivos es el 50% de las cifras anteriores.[127] Estos valores del tiempo de viaje han sido actualizado cada año en función de la tasa estimada de crecimiento del PIB real per cápita entre 2009 y 2030.

Excedente de usuarios de otros modos

Posiblemente uno de los supuestos simplificadores más importantes incluidos en nuestro análisis es que la repercusión del proyecto BRT sobre el reparto modal existente no va a ser excesiva, al menos, de manera inmediata. Existen varios argumentos que permiten apoyar este supuesto.

1. En primer lugar, consideramos que los usuarios de otras rutas no afectadas directamente por el BRT no van a obtener beneficios ni soportar costes adicionales como consecuencia del proyecto. Aunque podría argumentarse que la mejora del Corredor Norte repercute positivamente en el resto de la red a través de los trasbordos, la mayoría de estos ya han sido considerados a través de las rutas alimentadoras. Por otra parte, los costes operativos de los autobuses del resto de las líneas no tienen por qué verse afectados por los cambios introducidos por el BRT.

2. Con relación a los usuarios del transporte privado, la experiencia de otras ciudades sugiere que el impacto modal (trasvase de usuarios del transporte privado al público) es siempre muy moderado, especialmente cuando la reducción de tiempos va acompañada de un incremento de tarifas. Aunque el compartir las calles con el busway puede incrementarse la congestión en las vías más estrechas, éste no parece ser un problema suficientemente relevante en Managua en la actualidad.

3. Finalmente, resulta más difícil cuantificar el impacto del BRT (y especialmente de las ciclovías) sobre los viajeros que en la actualidad caminan o usan la bicicleta. La falta de información nos obliga a no incluirlos en el cálculo de excedentes.

Excedente de los contribuyentes

Como se ha indicado, el proyecto BRT supondrá una reorganización completa en la administración y gestión de una parte importante del actual sistema de transporte público por autobús en la ciudad de Managua. Los nuevos entes públicos de gestión de la infraestructura y administración del sistema percibirán ingresos procedentes de sendas cuotas de infraestructura (0,027 US$/pasajero) y de administración y regulación (0,034 US$/pasajero). Sin embargo, consideraremos que estos importes se han calculado de manera que cubran todos los costes asociados al funcionamiento de estos organismos.

Con respecto a las ganancias de tipo fiscal asociadas al proyecto, éstas vienen dadas, por un lado, por el incremento de la recaudación de impuestos que comenzarán a pagar los operadores y, por otro lado, por la eliminación de subvenciones que actualmente se conceden a los mismos. Resulta difícil realizar una valoración detallada de estos importes y debe tenerse en cuenta especialmente que los impuestos repercutidos sobre los usuarios son una mera transferencia renta. Por ello, en este apartado hemos optado por incluir únicamente en el ahorro anual una estimación conservadora , basada en el ahorro cada año de 1.250.000 dólares en subvenciones a los operadores, calculado anteriormente.

Resultados de la evaluación

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el **Cuadro 5.20** resume finalmente los principales beneficios y costes del proyecto valorados en dólares de 2008. En la primera columna de resultados se presenta la evaluación económica del proyecto, cuyo *VAN social* esperado se calcula usando la aproximación basada en la variación de excedentes de todos los agentes económicos afectados por el mismo. La siguiente columna se refiere únicamente al cálculo del *VAN financiero* incorporando los costes de infraestructura necesarios para poner el proyecto en

[127] De acuerdo con la Encuesta Domiciliar de 1998 un 38% del total de los viajes diarios era por motivos de trabajo, mientras que el resto se debía a estudios y otras razones.

Cuadro 5.20. Beneficios sociales esperados del proyecto

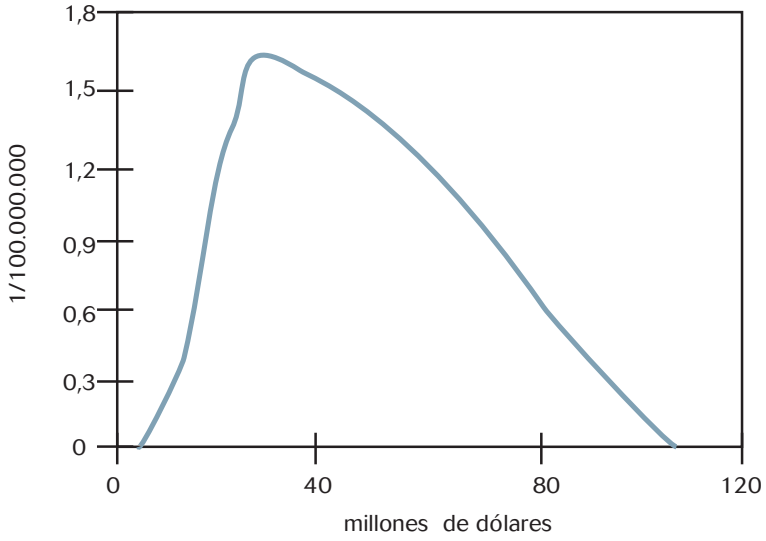
(valores descontados en dólares de 2008)

	Evaluación económica	Evaluación financiera con infraestructura	Evaluación financiera sin infraestructura
Costes de inversión			
En infraestructura (realizada por el sector público)	–43.800.408	–43.800.408	–
En autobuses (realizada por los nuevos operadores privados)	–26.971.971	–26.971.971	–26.971.971
Cambio en excedente de operadores privados actuales	–112.528.536	–	–
Pérdida de ingresos comerciales	+112.528.536	–	–
Ahorro de costes de operación y mantenimiento	–9.555.807	–	–
Pérdida de subvenciones	–9.555.807	–	–
Cambio en excedente			
Cambio en excedente de nuevos operadores privados (*)			
Ingresos comerciales netos obtenidos	+114.265.134	+114.265.134	+114.265.134
Costes de operación y mantenimiento	–75.332.078	–75.332.078	–75.332.078
Subvenciones recibidas	0	0	0
Cambio en excedente	38.933.056	38.933.056	38.933.056
Cambio en excedente de los usuarios del sistema	83.359.813	–	–
Cambio en excedente de los contribuyentes (sin inversión en infraestructura) (**)			
Ahorro de subvenciones concedidas a los nuevos operadores	+9.555.807	–	–
		–	–
Ingresos fiscales menos coste de administración y regulación	0	–	–
Cambio en excedente	+9.555.807		
Costes externos (ahorro emisiones contaminantes)	5.115.977	–	–
VAN esperado	56.556.467	-31.919.323	11.961.085

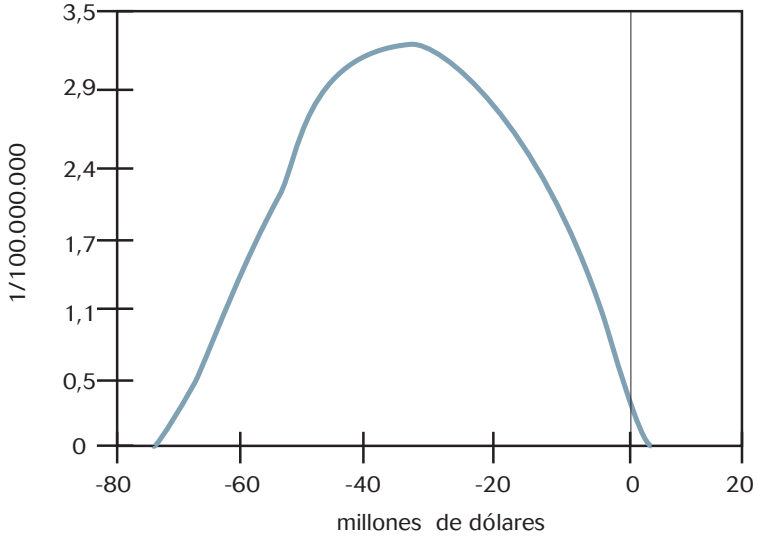
(*) En el cálculo del cambio en el excedente de los *nuevos* operadores privados no se incluyen los costes de adquisición de los autobuses, los cuales se presentan de manera separada en el primer epígrafe.

(**) El coste de las agencias de administración y regulación (50 millones de dólares en valor actual 2008) no aparece en el excedente de los contribuyentes, ya que los usuarios han pagado en su tarifa dicho coste, siendo el excedente de los contribuyentes cero. El coste de regulación está contabilizado en el precio generalizado *con* proyecto.

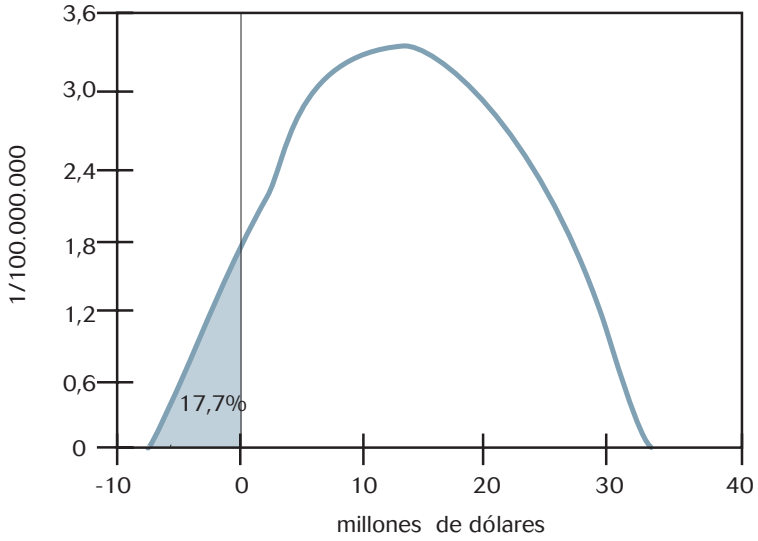
Figura 5.13. Distribuciones de probabilidad del VAN social y del VAN financiero: BRT-Managua



VAN social



VAN financiero (con infraestructura)



VAN financiero (sin infraestructura)

operación. Finalmente, la última columna presenta el *VAN financiero* (privado) calculado desde el punto de vista de los nuevos operadores privados de autobuses, es decir, excluyendo los costes de inversión en infraestructura. En la **Figura 5.13** se resumen finalmente las distribuciones de probabilidad de estos valores.

5.3.4. Discusión

Este proyecto se compone de una inversión en infraestructura y en material móvil (autobuses) con el fin de realizar un plan de modernización y potenciación del transporte público en Managua. El VAN esperado del proyecto supera los 50 millones de dólares con probabilidad cero de que el proyecto no sea socialmente deseable, dados los valores de las variables y la demanda esperada.

Teniendo en cuenta que los valores que se han tomado para el tiempo y las tarifas son conservadores puede concluirse que este proyecto es socialmente deseable, especialmente si se tiene en cuenta que las alternativas de tipo ferroviario como tranvía y metros ligeros son mucho más costosas e irreversibles que el tipo de inversión que nos ocupa.

Con respecto al VAN financiero el resultado es bien distinto si se incluye o no la infraestructura fija. En el primer caso, estaríamos razonando desde la perspectiva pública, y como muestra la Figura 5.13 la probabilidad de que los ingresos comerciales cubran todos los costes, incluida la infraestructura, es prácticamente nula. Excluyendo la infraestructura, lo que supone situarse en la perspectiva de los operadores privados que exploten el sistema y también exige suponer que el sector público financia la infraestructura fija, el VAN esperado es positivo (12 millones de dólares) y la probabilidad de entrar en pérdidas es del 18 por ciento.

Este proyecto se presta a ser imaginativo en el diseño de los contratos para la participación privada. Dependiendo de la restricción presupuestaria del gobierno, y de la capacidad del sistema de atraer a operadores privados para participar en un futuro concurso público, podría ser interesante diseñar contratos que incentivaran el comportamiento eficiente de las empresas, que redujeran el riesgo que estas no pueden controlar mediante indexación (parcial) de costes incontrolables por las empresas, y que recogieran algún tipo de contribución a la infraestructura fija en el caso en que se generasen excedentes que así lo permitiesen (reparto de las ganancias entre contribuyentes y empresas y usuarios).

Los aspectos redistributivos de este proyecto son importantes porque no todos se benefician del cambio, y la identificación de los ganadores y perdedores puede ayudar a la política económica del proyecto. Muchos usuarios se beneficiarán del sistema por los ahorros de tiempo y otros porque realizarán nuevos viajes. Algunos puede que no, especialmente aquellos de trayectos cortos y muy bajo valor del tiempo, ya que lo que se ahorran en tiempo estará más que contrarrestado por la subida de tarifas.

Los contribuyentes empeoran porque aunque se ahorran 9,5 millones de dólares (en valor actual de 2008) en subvenciones, han de pagar 44 millones para invertir en infraestructura, a menos que la buena marcha del proyecto y el contrato firmado permita cierta recuperación de la inversión).

Los operadores de autobuses existentes empeoran siempre que sus costes evitables sean inferiores a los ingresos brutos (incluidas subvenciones) que recibían. Este es el supuesto que hemos hecho a la luz de la información disponible sobre la reacción de estos empresarios privados a la implantación del nuevo sistema. Idealmente, y seleccionando de acuerdo con su capacitación técnica, honorabilidad y solvencia financiera, empresas integradas por los operadores antiguos podrían participar en el concurso para operar en el nuevo sistema de acuerdo con las condiciones establecidas en los nuevos pliegos de concesión.

Cuadro 5.21. Resumen por años de los beneficios y costes esperados del proyecto

Año	INVERSIÓN	VARIACIÓN EXCEDENTE OPERADORES ACTUALES	VARIACIÓN EXCEDENTE OPERADORES NUEVOS	VARIACIÓN EXCEDENTE USUARIOS	VARIACIÓN EXCEDENTE CONTRIBUYENTES	AHORRO COSTES EXTERNOS	BENEFICIOS SOCIALES NETOS	BENEFICIOS PRIVADOS NETOS (*)
2008	-43.880.408					5.115.977	-38.764.431	0
2009	-20.976.560	-1.250.000	5.056.176	6.153.041	1.250.000	0	-9.767.342	-15.920.384
2010	0	-1.250.000	3.443.756	6.667.280	1.250.000	0	10.111.036	3.443.756
2011	0	-1.250.000	5.153.786	7.217.400	1.250.000	0	12.371.186	5.153.786
2012	0	-1.250.000	4.902.550	7.805.784	1.250.000	0	12.708.334	4.902.550
2013	0	-1.250.000	5.476.276	8.434.968	1.250.000	0	13.911.244	5.476.276
2014	0	-1.250.000	4.803.759	9.107.655	1.250.000	0	13.911.415	4.803.759
2015	-9.737.412	-1.250.000	1.765.588	9.826.726	1.250.000	0	1.854.902	-7.971.824
2016	0	-1.250.000	5.479.406	10.583.567	1.250.000	0	16.062.972	5.479.406
2017	0	-1.250.000	6.020.891	11.391.276	1.250.000	0	17.412.167	6.020.891
2018	0	-1.250.000	5.073.027	12.253.141	1.250.000	0	17.326.168	5.073.027
2019	0	-1.250.000	6.466.229	13.172.658	1.250.000	0	19.638.888	6.466.229
2020	0	-1.250.000	6.388.752	14.153.547	1.250.000	0	20.542.299	6.388.752
2021	-10.486.444	-1.250.000	6.834.336	15.199.764	1.250.000	0	11.547.656	-3.652.108
2022	0	-1.250.000	4.638.223	16.315.519	1.250.000	0	20.953.742	4.638.223
2023	0	-1.250.000	6.898.463	17.505.289	1.250.000	0	24.403.752	6.898.463
2024	0	-1.250.000	6.522.817	18.773.837	1.250.000	0	25.296.654	6.522.817
2025	0	-1.250.000	7.254.748	20.126.230	1.250.000	0	27.380.977	7.254.748
2026	0	-1.250.000	6.315.080	21.567.856	1.250.000	0	27.882.936	6.315.080
2027	-12.359.023	-1.250.000	2.316.705	23.104.449	1.250.000	0	13.062.130	-10.042.319
2028	0	-1.250.000	7.261.214	24.742.106	1.250.000	0	32.003.320	7.261.214
2029	0	-1.250.000	7.981.526	26.487.314	1.250.000	0	34.468.841	7.981.526
2030	0	-1.250.000	6.717.489	28.346.973	1.250.000	0	35.064.462	6.717.489

Nota: Valores monetarios en dólares de 2008. (*) Los beneficios privados netos se refieren al operador privado y y no incluyen la inversión en infraestructura.

Banco Interamericano de Desarrollo
Departamento de Desarrollo Sostenible
1300 New York Ave., NW
Washington, D.C. 20577 USA
www.iadb.org/sds