

ANÁLISIS COSTE BENEFICIO DE UN PROYECTO DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE CARRETERAS

MANUEL C. ROMERO-HERNÁNDEZ

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

En este trabajo se realiza la evaluación económica ex ante de un proyecto de inversión en infraestructura de carreteras en una ciudad de tamaño medio en España. La aportación de este trabajo radica en la realización de un análisis coste beneficio de un proyecto de infraestructura con efectos sobre una red viaria urbana y que requiere, por tanto, un tratamiento de red de transporte. Para determinar el beneficio social neto generado es necesario modelizar el comportamiento de los usuarios de toda la red, que con la ejecución del proyecto ven alterado el coste generalizado y las rutas empleadas en sus desplazamientos. (JEL C6, R4)

1. Introducción

La participación del capital privado en la construcción y mantenimiento de las infraestructuras viarias es una práctica generalizada en el mundo. La gestión y explotación directa por empresas privadas mediante cobro de peajes, aunque menos frecuente, tiende a ser una de las alternativas más válidas para resolver el problema de financiación de las infraestructuras de carreteras (véase Meyer y Gómez-Ibáñez, 1993, Fishbein y Babbar, 1996). Ambos niveles de participación del capital privado en la provisión de infraestructuras contribuyen a elevar la eficiencia productiva en la oferta de estos servicios y a reducir la necesidad de financiación pública (Ferreira y Khatami, 1996).

Sin embargo, la decisión de cuándo y dónde construir las infraestructuras viarias sigue siendo, en general, competencia del sector público,

Este trabajo forma parte de mi tesis doctoral dirigida por el profesor Ginés de Rus. Deseo expresar mi agradecimiento a Javier Campos por sus sugerencias, a la Dirección General de Planificación, Presupuesto y Gasto Público del Gobierno de Canarias y a la Fundación Universitaria de Las Palmas de Gran Canaria por su apoyo financiero para la realización del trabajo

y la evaluación económica, la técnica más extendida para jerarquizar y decidir qué inversiones son las que acaban configurando la red viaria básica de los países. El desarrollo de estas redes viarias en los países desarrollados determina que, sólo en muy pocas ocasiones la puesta en funcionamiento de este tipo de proyectos puede tener efectos aislados. Por el contrario, la tendencia actual es que sus efectos se distribuyan en el entorno de la red viaria en el que se encuentran ubicados. Por tanto, la evaluación económica de las nuevas inversiones en infraestructuras viarias no se puede realizar de forma aislada, sino que será necesario determinar también los efectos que genera sobre la red afectada por su funcionamiento (Bates *et al.*, 1990).

La aplicación en España de las técnicas coste-beneficio para la evaluación económica de proyectos de inversión en infraestructuras de transporte es relativamente reciente, teniendo en cuenta la tradición que existe en otros países en este campo. Así, por ejemplo, entre otros, se pueden citar los trabajos de Riera (1993), para evaluar las Rondas de Barcelona; De Rus e Inglada (1993), donde se realiza la evaluación de los beneficios derivados de la construcción de la línea de ferrocarril de alta velocidad entre Madrid y Sevilla y del impacto sobre el resto de los modos de transporte sustitutivos. De Rus y Romero (1995) realizan la evaluación de una serie de proyectos de inversión en infraestructuras de carreteras, puertos y ferrocarril en los que se utilizaron fondos del Marco de Apoyo Comunitario 1989-93. Finalmente, el trabajo de De Rus *et al.* (1995) realiza la evaluación de un puerto con la aplicación de precios sombra, como el caso que ilustra el análisis económico de la inversión de fondos públicos en una infraestructura que tiene efectos directos sobre otras ya existentes.

Partiendo de las aportaciones anteriores, en este trabajo se realiza la evaluación económica *ex-ante* de un proyecto de inversión en infraestructura de carreteras que tiene efectos estratégicos importantes sobre una red viaria urbana en una ciudad de tamaño medio en España. En concreto, se trata de analizar un proyecto de inversión real para la construcción de una vía de circunvalación en torno a la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, en la que se realizan diariamente más de 380.000 desplazamientos en vehículo privado¹. La principal aportación de este trabajo consiste en la realización de un análisis coste-beneficio de un proyecto de infraestructura con efectos sobre una red viaria ur-

¹Actualmente el proyecto de circunvalación a la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria se encuentra en fase de realización

vana. Este efecto de red requiere un tratamiento global del sistema de transporte en el que, para el cálculo del beneficio social neto del proyecto, resulta necesario modelizar el comportamiento de todos los usuarios de la red, quienes, con la ejecución del proyecto, ven alterado su coste generalizado² y las rutas empleadas en sus desplazamientos.

Tras esta introducción, en el apartado segundo de este trabajo se analiza el comportamiento de dichos usuarios que se caracteriza como un problema de programación matemática, cuya función objetivo es la minimización del coste individual de los desplazamientos realizados por los usuarios dentro de la red de transporte. Los criterios que se han seguido para la obtención del beneficio social neto y los resultados de la evaluación se presentan en el apartado tercero. Finalmente, en el cuarto, se exponen las principales conclusiones que se pueden extraer del artículo.

2. Problema de equilibrio de la red

Resulta posible identificar dos elementos que caracterizan la evaluación económica de un proyecto de inversión que afecta a una red de transporte como la que es objeto de estudio de esta aplicación.

En primer lugar, la demanda de transporte viene expresada por la matriz origen-destino que recoge el volumen total de desplazamientos entre cada par origen-destino durante un periodo de tiempo determinado. Para este trabajo, esta matriz se obtuvo a partir de una encuesta origen-destino (EDEI, 1991). Para ello las zonas de origen y destino de los desplazamientos que ofrecía la encuesta fueron agrupadas hasta quedar 20, 6 de ellas para el exterior y las 14 restantes para el interior de la ciudad. Debido a que la distribución del tráfico a lo largo del día no es homogénea, se generó una matriz horaria para períodos punta (mayor intensidad de tráfico) y otra para períodos valle (menor intensidad de tráfico). Estas matrices fueron actualizadas en función de los crecimientos de tráfico históricos hasta el 95 y, para los años posteriores, en función de las previsiones del Ministerio de Fomento recogidas en su manual de inversiones en carreteras (MOPTMA, 1992).

Por otro lado, la oferta de infraestructura viene representada por un

²Se entiende por coste generalizado el coste total que debe asumir el usuario que utiliza cualquier medio de transporte incluyendo las carreteras y en el que se incluyen los costes monetarios del desplazamiento, como por ejemplo el gasto en combustible empleado, coste operativo en general, tarifas pagadas por el uso de la infraestructura o del vehículo, coste en términos de tiempo y accidentes

conjunto de vías que, de forma agregada, constituyen una red de transporte por la cual los usuarios pueden realizar sus desplazamientos. Para esta aplicación queda recogida por un vector de tiempos (ta , donde $a = 1..149$ representa a cada una de las vías) que determina el tiempo de desplazamiento a emplear por el usuario para atravesar cada una de las vías que componen la red. Este tiempo depende de las características físicas de cada vía y del nivel de congestión a la que se ve sometida. La estructura de la red, entendida como el conjunto de todas las vías existentes, proporciona también la información de las posibles conexiones disponibles por las que los usuarios pueden realizar sus desplazamientos entre cada uno de los pares origen-destino considerados.

El beneficio social bruto que genera la puesta en funcionamiento del proyecto es igual, a nivel individual, al ahorro que experimenta cada usuario de la infraestructura en el coste generalizado de sus desplazamientos. El cálculo de este ahorro individual se obtiene comparando el coste de desplazamiento para los escenarios sin y con la ejecución del proyecto. Esto requiere conocer las rutas³ que escogen los usuarios entre los diferentes puntos de origen y destino de la red para realizar sus desplazamientos. Las rutas quedan determinadas no sólo por la disponibilidad de vías alternativas, sino también por la confluencia con otros usuarios en esas vías, es decir, por su nivel de congestión.

El problema a resolver es encontrar lo que podemos denominar equilibrio de la red, esto es determinar las rutas que seguirían los usuarios para realizar sus desplazamientos con el fin de establecer, posteriormente, el ahorro de costes individuales que genera la puesta en funcionamiento del proyecto de inversión. Por tanto, cuando la red se encuentre en equilibrio lo estarán también los usuarios que por ella se desplazan. Esta relación es conocida como el *Primer Principio de Wardrop* (Wardrop, 1952). Formalmente, se trata de determinar el vector de flujos de usuarios en cada vía de la red que minimiza el coste individual en términos de tiempo de los desplazamientos, de modo que, cuando los usuarios estén en equilibrio no les será posible a ninguno de ellos encontrar una ruta que le permita reducir el tiempo individual de sus desplazamientos (Ortúzar y Willumsen, 1990). Este vector de equilibrio no es necesariamente el mismo que minimiza el coste total de la red en términos de tiempo y que llevaría a plantear el problema

³Una ruta es un conjunto de vías de la red utilizada por un usuario para realizar un desplazamiento entre un par origen destino

de la siguiente forma:

$$\text{Min } C^R(x) = \sum_{a=1}^{149} x_a t_a(x_a), \quad [1]$$

donde, $C^R(x)$ representa el coste total en términos de tiempo de la red, x es un vector $(x_1, \dots, x_a, \dots, x_{149})$ que recoge el volumen de usuarios en cada una de las vías que componen la red, y finalmente, t_a es el tiempo necesario para atravesar la vía a , el cual depende del flujo de usuarios (x_a) en dicha vía.

Con la solución de este problema se definen aquellas combinaciones de vías para que los usuarios realicen sus desplazamientos con el objetivo de minimizar el tiempo total invertido en la red. Sin embargo, si esas combinaciones no coinciden con las que permiten minimizar su tiempo individual de desplazamiento van a existir incentivos para que modifiquen esas rutas por otra más económicas, a nivel individual, a costa de aumentar el coste total del sistema.

Beckman *et al.* (1952) muestran que, si el coste de circulación por una determinada vía depende sólo del número de usuarios en esa vía y no del que circula por el resto de vías de la red, existe un vector de flujos para el que los usuarios minimizan el coste individual de sus desplazamientos teniendo en cuenta el nivel de congestión producido por la confluencia con otros usuarios en la red, que satisface el *Primer Principio de Wardrop* y que minimiza la función

$$C^I(x) = \sum_{a=1}^{149} \int_0^{x_a} t_a(w) dw, \quad [2]$$

sujeto a las restricciones

$$\sum_k f_k^{ij} = q_{ij} \quad \forall i, j \quad [3]$$

$$f_k^{ij} \geq 0 \quad \forall k, i, j \quad [4]$$

tal que

$$x_a = \sum_i \sum_j \sum_k f_k^{ij} \delta_{a,k}^{ij} \quad \forall a \quad [5]$$

donde ahora, $C^I(x)$ es la suma de los costes individuales en términos de tiempo de los desplazamientos que se realizan en la red, x es de nuevo un vector $(x_1, \dots, x_a, \dots, x_{149})$ que recoge el volumen de usuarios en cada

una de las vías que componen la red, y $t_a(w)$ es el tiempo necesario para atravesar la vía a , el cual que depende del flujo de usuarios (x_a) en dicha vía. La variable f_k^{ij} representa el flujo de usuarios que utilizarán la ruta k para desplazarse entre los puntos i y j . La suma del flujo de desplazamientos entre i y j por cada una de las rutas utilizadas (k), debe ser igual al volumen total de desplazamientos entre ambos puntos de la red, que recoge la variable q_{ij} y que viene definido por la matriz origen-destino del problema. Por su parte, la ecuación [5] define el número total de vehículos que pasan por una determinada vía (a) de la red como la suma del número de vehículos que utilizan esa vía como parte de la ruta (k) seleccionada para realizar el desplazamiento entre todos los pares $i - j$, teniendo en cuenta que $\delta_{a,k}^{ij}$ toma valor uno si la vía a forma parte de alguna de las rutas que unen i y j y valor cero en caso contrario.

La resolución de este problema de programación matemática formado por las expresiones [2], [3], [4] y [5] nos permite obtener las siguientes condiciones de primer orden:

$$f_k^{ij} \left[\frac{\delta C}{\delta f_k^{ij}} - \lambda_{ij} \right] = 0 \quad \forall k, i, j \quad [6]$$

$$\frac{\delta C}{\delta f_k^{ij}} - \lambda_{ij} \geq 0 \quad \forall k, i, j \quad [7]$$

$$\sum_k f_k^{ij} = q_{ij} \quad \forall i, j. \quad [8]$$

De las ecuaciones [6] y [7] se puede deducir que sólo podrá existir un flujo positivo de vehículos en aquellas rutas cuyo coste individual de desplazamiento para el usuario sea igual al multiplicador de Lagrange (λ_{ij}) para ese par de puntos. Si el número de desplazamientos fuera perfectamente divisible, implicaría que, en el equilibrio, todas las rutas seleccionadas para realizar un mismo desplazamiento entre dos puntos de la red requerirían el mismo coste al usuario marginal que desee realizarlo.

Para resolver este problema en la aplicación de este trabajo, se ha usado el algoritmo planteado en Frank y Wolfe (1956) y se ha utilizado la ecuación planteada en Sheffi (1985) para relacionar el tiempo de circulación en una vía de la red con el flujo de circulación y la capacidad:

$$t_a = t_a^o \left[1 + 0,15 \left[\frac{x_a}{CA_a} \right]^4 \right], \quad [9]$$

donde, t_a representa el tiempo que un usuario requiere para a travesar la vía a , t_a^o el tiempo que requeriría un usuario para atravesar la vía a en ausencia de congestión, x_a el flujo de circulación en el vía a medido en vehículos por hora, y finalmente, CA_a la capacidad de la vía a medida por el número máximo de vehículos por hora.

Reemplazando la ecuación [9] en la [2], la función del coste total del sistema, a minimizar en términos de tiempo, quedaría como:

$$C^I(X) = \sum_{a=1}^{149} [t_a^o x_a + \frac{0.15 t_a^o}{5 CA_a^4} [x_a]^5]. \quad [10]$$

El algoritmo comienza obteniendo una solución inicial para el problema distribuyendo los usuarios por la ruta más corta entre cada par origen-destino (véase Thomas, 1991). En el segundo paso se calculan los tiempos (t_a) que se derivan para cada vía de la red a partir de la distribución anterior y el coste total del sistema de acuerdo con la expresión [10]. En el tercer paso se vuelve a obtener una nueva solución con los nuevos tiempos que se han obtenido en el paso anterior, esto permite determinar el vector gradiente y su módulo, de modo que se genere una solución final que permita obtener la máxima reducción en el coste total del sistema. En el cuarto paso se calcula la reducción del coste total. Si ésta no supera el umbral de sensibilidad planteado (para la aplicación de esta investigación se consideró que debía ser menor que un uno por ciento) el proceso no se considera finalizado, por lo que se vuelven a calcular los tiempos para cada vía y se repite el proceso a partir del paso 3.

La solución final del problema permite determinar el volumen de usuarios que utilizarán cada una las vías del sistema para realizar sus desplazamientos y sustituyendo en la ecuación [10] el coste total del sistema en términos de tiempo. El resto de componentes del coste generalizado, el número de accidentes mortales y no mortales, y el coste operativo de los vehículos, se han obtenido con la ecuaciones propuestas por el Ministerio de Fomento en su manual de evaluación de carreteras (MOPTMA, 1992)⁴.

⁴La resolución del algoritmo se realizó con un programa informático realizado en Turbo Pascal diseñado para este trabajo. Las salidas del programa ofrecen directamente el coste en términos de tiempo expresado en minutos, el número de accidentes mortales y no mortales y el coste operativo de los vehículos

3. Cálculo de los beneficios y costes generados por el proyecto

La aplicación de esta investigación se ha realizado para un proyecto de circunvalación a una ciudad española de tamaño medio, Las Palmas de Gran Canaria. La puesta en funcionamiento de este proyecto, por sus características de circunvalación, afectará a la distribución de los desplazamientos que se realizan en el entorno del área urbana y, por tanto, requiere para su evaluación que se analicen los efectos sobre toda la red viaria de la ciudad en su conjunto.

Para evaluar los beneficios que genera este proyecto se han medido, *ex-ante* sobre un total de 44 escenarios⁵, las variaciones en tiempo, coste operativo y accidentes que experimentarían los usuarios de la red con la puesta en funcionamiento del proyecto. En la valoración de los costes del proyecto, el coste de oportunidad de los recursos utilizados o precio sombra queda determinado por la suma del coste monetario de los recursos naturales usados descontados los impuestos (véase Dodgson and Forrest, 1988). Las partidas que se han incluido como costes en esta evaluación han sido el coste de la construcción de la infraestructura viaria, el coste del terreno utilizado⁶ y el coste del mantenimiento y gestión futura de la infraestructura. El coste ambiental no ha sido incluido al no disponer de la información adecuada que lo permitiese.

El cálculo de los beneficios generados por el proyecto se ha realizado combinando un modelo de *Hipótesis de Matriz Fija* con un modelo de *Saturación de la Red*. La *Hipótesis de Matriz Fija* es seguida por el modelo británico COBA-9 (Department of Transport, 1989) y fue formulada inicialmente en Dawson (1967). Esta hipótesis plantea que la respuesta que se espera de los usuarios es la reasignación de las rutas utilizadas para realizar sus desplazamientos, manteniéndose constante la distribución modal y la localización de los desplazamientos. Tal como se muestra en Williams and Lam (1991), la *Hipótesis de Matriz Fija* es una buena aproximación para medir el beneficio social neto generado por proyectos como el de esta aplicación. El cambio de las rutas utilizadas por los usuarios para realizar sus desplazamientos se obtiene resolviendo el problema de equilibrio de la red planteado en la Sección 2 de este trabajo.

Los crecimientos de la demanda de desplazamientos que se consideran

⁵ Los escenarios evaluados son una combinación de los períodos punta y valle, y de los diferentes tramos del proyecto a lo largo de su vida útil

⁶ Para los terrenos obtenidos por expropiaciones puede utilizarse el precio pagado por este concepto como indicador de su coste de oportunidad (Riera, 1993)

con la aplicación de la *Hipótesis de Matriz Fija* se originan por razones externas a la infraestructura como son el aumento del índice de motorización, el crecimiento de la renta, etc. Los modelos de *Saturación de la Red* permiten adaptar el nivel de crecimiento de la demanda a la capacidad de la infraestructura existente, hasta que se alcance un nivel de saturación de la red viaria, lo que permite complementar las hipótesis de crecimiento de la demanda del modelo de *Matriz Fija*. Esto es necesario, ya que en áreas urbanas la demanda de desplazamientos a partir de un determinado nivel de coste generalizado para el usuario se vuelve muy inelástica (Bates *et al.*, 1990).

Para determinar el nivel de saturación de la red se ha optado por seleccionar aquellas vías puramente urbanas⁷ para obtener la velocidad media de circulación en el interior de la ciudad como aproximación (Van Vuren y Davies, 1992).

Los niveles de intensidad de vehículos determinan los beneficios que generaría el proyecto a lo largo de su vida útil. Esto hace necesario que, además de distinguir entre períodos punta y valle a lo largo del día, se realicen actualizaciones de la matriz origen-destino a lo largo de la vida útil del proyecto. Esto es lo que se ha hecho para los años 5, 10, 15 y 20 de funcionamiento del proyecto.

El coste operativo de los vehículos recoge el coste derivado del uso de la infraestructura. Para este proyecto se han evaluado a partir del coste de las diferentes partidas que considera el Ministerio de Fomento (véase MOPTMA, 1992), descontando los impuestos del consumo de combustible al objeto de obtener su precio sombra.

Valorar los ahorros en términos de tiempo y accidentes requiere utilizar un factor de conversión que permita monetizarlos. En el caso de los ahorros de tiempo se ha usado el valor estándar propuesto por el Ministerio de Fomento (MOPTMA, 1992), 1.731 ptas./vehículo-hora. Para la valoración del coste de los accidentes el Ministerio dispone de dos valores estándares que permiten diferenciar entre accidentes mortales (30 millones de pesetas) y no mortales (4 millones de pesetas). Para ambas partidas los valores usados están actualizados al año base de la evaluación, de modo que la interpretación de los resultados está sujeta a este factor.

De los resultados obtenidos (Cuadro 1) se puede destacar que el ahorro de tiempo representa la partida más importante de los beneficios gene-

⁷No incluyendo aquellas con velocidades de libre circulación altas

rados con la ejecución completa del proyecto, situándose entre el 71% y el 80%, seguido por los ahorros de coste operativo de los vehículos (entre el 18 y el 25%) y, finalmente, los ahorros de accidentes, que se sitúan alrededor del 2%.

CUADRO 1
Beneficios del proyecto (*millones de pesetas 1996*)

Año		2000	2005	2010	2015
Ahorro Tiempo	valle	4535,2	5742,9	7225,7	8047,2
	punta	4490,8	6045,1	8559,2	10328,0
Ahorro Accidentes	valle	224,7	241,3	259,3	261,8
	punta	115,5	126,3	139,8	143,4
Ahorro Coste Operativo	valle	2113,3	2299,8	2502,4	2585,3
	punta	1162	1296,3	1482,2	1599,8

Incluyendo el coste generalizado de los usuarios, la ejecución completa de este proyecto genera economías de escala (véase Mohring, 1972), si se compara con su ejecución tramo a tramo. Esto no necesariamente tiene que cumplirse en un proyecto de estas características, ya que las posibles economías de escala dependen de las combinaciones de desplazamientos que permiten a los usuarios el trazado del proyecto que se esté analizando.

El Cuadro 2 recoge la comparación de los costes y beneficios actualizados del proyecto completo tomando como momento base enero de 1996 y suponiendo que los beneficios y costes se devengarán como una renta postpagable con vencimiento al final de cada año. Los costes de construcción se han distribuido de forma uniforme en los cuatro primeros años de vida del proyecto y, en los siguientes, el coste de mantenimiento de la infraestructura.

El Cuadro 2 ilustra también el análisis de sensibilidad realizado para estudiar la variabilidad de los resultados. Para comparar las partidas de beneficios y costes que tengan un vencimiento diferente es necesario actualizarlas al momento base para lo cual se aplica un factor de descuento, que se ha obtenido a partir de una tasa social de descuento del 6%⁸. Esto permite obtener los beneficios y costes actualizados del proyecto cuya suma representa el valor actualizado neto (VAN) o

⁸Se ha empleado esta tasa social de descuento en términos reales por ser la utilizada por el Ministerio de Fomento en proyectos similares de ingeniería civil y ser la media que se obtiene en proyectos de evaluación similares en el marco de la Unión Europea (véase Commission, 1996)

beneficio social neto actualizado. En este caso el VAN obtenido para el proyecto completo supera holgadamente el umbral de rentabilidad mínima requerida por la tasa social de descuento. La TIR (tasa interna de rendimiento) expresa la tasa de rentabilidad del proyecto, así como la tasa de descuento para la que se anula el VAN.

CUADRO 2
Análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos (*millones de pesetas 1996*)

Alternativa	Caso base (I)	Tasa Riesgo 10%	Valor tiempo reducido 50%
Costes Actualizados			
Construcción	38 192,2	38.162,2	38 162,2
Mantenimiento	1 408,2	1.408,2	1 408,2
Total	39.570,4	39.570,4	39 570,4
Beneficios Actualizados			
Ahorro Tiempo	103.690,0	35 176,4	51 845
Ahorro Accidentes	2 989,8	1.086,8	2 989,8
Ahorro C. Operativo	29.531,9	10 651,4	29 531,9
Beneficio Total	136 211,7	46.914,6	84.366,7
VAN	96 641,30	7.344,16	44.796,32
TIR	23,3%	8,5%	15,8%

(1)=Tasa de descuento del 6% valor del tiempo 1 731 pts /hora y sin descuento de los beneficios por riesgo

Aplicar una tasa de riesgo del 10% sobre los beneficios futuros limita su valor esperado actualizado. Tal como se recoge en el cuadro, a pesar de esta tasa tan alta, el proyecto sigue manteniendo un VAN positivo. El proyecto soporta hasta una tasa de riesgo de los beneficios futuros del 16%, a partir de la cual el VAN se hace negativo y por tanto, dejaría de ser deseable.

Aún si se reduce el valor del tiempo a la mitad para valorar la partida más importante de los beneficios del proyecto, éste sigue manteniendo un VAN positivo. El valor del tiempo debería reducirse catorce veces sobre el oficial aplicado en la evaluación, esto es, hasta 117,7 pesetas/hora, para que el VAN se anulara. En cualquier caso, sobre el coste de los accidentes no cabe realizar un análisis con un valor inferior al usado, ya que, como se pone de manifiesto si se compara con el valor usado por el resto de estados miembros de la Unión Europea (véase De Rus y Romero, 1985), éste es ya considerablemente bajo.

4. Conclusiones

A pesar de la tendencia creciente de participación del capital privado en la financiación y explotación de las infraestructuras de carreteras,

la experiencia internacional demuestra que la decisión de invertir en estos servicios permanece en manos de las administraciones públicas. Utilizar las técnicas coste-beneficio permite obtener los indicadores económicos necesarios para comparar diferentes proyectos o alternativas que compitan por su financiación con el objeto de invertir en aquellas alternativas que generen un mayor bienestar social.

El desarrollo de las infraestructuras de carreteras determina que en general la ejecución de este tipo de inversiones van destinadas en la mayoría de los casos a mejorar la red existente, donde los efectos se distribuyen de forma proporcional a la importancia del proyecto y a las posibilidades de conexión con otras vías de la red. Realizar la evaluación económica, de carácter obligatorio para cualquier inversión en infraestructura con financiación de la Unión Europea de más de 25 millones de ECUs, como es el caso del proyecto analizado en este trabajo, requiere metodologías que permitan modelizar el comportamiento de los usuarios y obtener los ahorros en el coste de sus desplazamientos.

En este trabajo se ha mostrado que en la evaluación económica de este tipo de proyectos se deben tener en cuenta los siguientes elementos. En primer lugar, la respuesta de los individuos ante los cambios experimentados en sus costes generalizados determina el tipo de modelo de predicción de demanda a utilizar. En el caso de infraestructuras de carreteras en redes viarias urbanas en ciudades de tamaño medio la respuesta de la demanda es limitada, por lo que la utilización de la Hipótesis de Matriz Fija es una buena aproximación para medir los beneficios generados con su ejecución. En segundo lugar, para la estimación del crecimiento del tráfico se debe tener en cuenta que la infraestructura presenta rigideces para adaptarse a la demanda, de modo, que su crecimiento estará afectado también por el nivel de congestión de la red. La solución para este problema se obtiene con la aplicación de un Modelo de Saturación de la Red, tal como se ha hecho en este trabajo.

Finalmente la modificación de las condiciones de congestión de la red, y la disponibilidad de nuevas vías, puede producir cambios en las rutas utilizadas por los usuarios para realizar sus desplazamientos, lo que se resuelve mediante un problema de programación matemática que permite determinar las rutas que minimiza el coste individual, en términos de tiempo, de cada desplazamiento.

Apendice

CUADRO A1
Comparación de beneficios y costes del proyecto (millones pts. 1996)

Año	Costes		Beneficios			Factor Descuento	Beneficios-Costes actualizados
	Ahorro Tiempo	Ahorro Accidentes	Ahorro C	Operativo	Ahorro Total		
1	11.013,29	0	0	0	0	0,943	-10.389,90
2	11.013,29	0	0	0	0	0,890	-9.801,79
3	11.013,29	0	0	0	0	0,840	-9.246,97
4	11.013,29	0	0	0	0	0,792	-8.723,56
5	158,56	9.025,93	340,17	3.275,26	12.641,36	0,747	9.327,87
6	158,56	9.578,35	345,67	3.339,43	13.263,44	0,705	9.238,42
7	158,56	10.130,77	351,17	3.403,59	13.885,52	0,665	9.129,21
8	158,56	10.683,19	356,67	3.467,75	14.507,61	0,627	9.002,77
9	158,56	11.235,61	362,17	3.531,91	15.129,69	0,592	8.861,39
10	158,56	11.788,03	367,67	3.596,07	15.751,77	0,558	8.707,17
11	158,56	12.587,40	373,94	3.673,77	16.635,12	0,527	8.679,65
12	158,56	13.386,78	380,22	3.751,47	17.518,48	0,497	8.627,35
13	158,56	14.186,16	386,49	3.829,17	18.401,83	0,469	8.553,16
14	158,56	14.985,54	392,77	3.906,88	19.285,18	0,442	8.459,72
15	400,97	15.784,92	399,04	3.984,58	20.168,54	0,417	8.248,32
16	158,56	16.302,99	400,26	4.024,69	20.727,95	0,394	8.097,06
17	158,56	16.821,06	401,48	4.064,81	21.287,36	0,371	7.846,48
18	158,56	17.339,14	402,70	4.104,93	21.846,77	0,350	7.598,33
19	158,56	17.857,21	403,93	4.145,05	22.406,18	0,331	7.353,13
20	279,77	18.375,28	405,15	4.185,16	22.965,59	0,312	7.073,55
						VAN	96.641,37

Referencias

- Bates, J.J., D.J. Ashley, P.W. Bonsall y P.J. Mackie (1990), *Modelling the Effects of Congestion on Interurban Highway Networks*, Final Report. Department of Transport.
- Beckman, M., C. McGuire y C. Winston (1956), *Studies in the Economics of Transportation*, Yale University Press. New Haven.
- Commission (1996), *Guide to Cost Benefit Analysis of Major Projects*, Directorate General for Regional Policies.
- Dawson, R.F.F. (1967): "The economic assesment of road improvement schemes", Road Research Laboratory Technical Paper 75. U.K
- De Rus, G., M. González, C. Román, M. Romero, B. Tovar y L. Trujillo (1995): "Análisis coste beneficio del puerto de Arinaga", Departamento de Economía Aplicada de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Documento de Trabajo 19/95.
- De Rus, G. y V. Inglada (1993). "Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España", *Revista de Economía Aplcada* 3, pp. 27- 48.
- De Rus, G. y M. Romero (1995): "Análisis de la rentabilidad social de proyectos de inversión en infraestructuras de transporte del marco de apoyo comunitario 1989-93", FEDEA. Documento de Trabajo.
- Department of Transport (1989), *COBA 9 Manual*, HMSO.
- Dodgson, J.S., y D.K. Forrest (1989), *The Use of Shadow Prices in a Developed Economy* Project Planning Centre for Deelopng Countries. University of Bradford. June.
- EDEI (1991), *Estudio de movimientos de la población en la isla de Gran Canaria*, Gobierno de Canarias
- Ferreira, D y K. Khatami (1996): "Financing private infrastructure in developing countries", World Bank Discussion Paper, 343. World Bank.
- Fishbein, G. y S. Babbar (1996): "Private financing of toll roads", RMC Discussion Paper Series, 117. World Bank.
- Frank, M. y P. Wolfe (1956). "An algorithm for quadratic programming", *Naval Research Logistic Quarterly* 3, pp. 95-110.
- Meyer, J. y J. Gómez-Ibañez (1993), *Going Prvate: The International Experience with Transport Prvatzization*, Washington D.C. Brookings Institution.
- Mohring, H. (1972). "Optimisation and scale economies in urban bus transportation", *American Economic Review* 62, pp. 591-604.
- MOPTMA (1992), *Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras*. Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente, Servicio de Planeamiento Madrid.
- Ortúzar, J. y L. Willumsen (1990), *Modelling Transport*, John Wiley & Sons Editors. London.
- Ruera, P. (1993), *Rentabilidad social de las infraestructuras: Las Rondas de Barcelona*, Civitas, Madrid.
- Sheffi, Y. (1985), *Urban Transportation Network. Equilibrium Analysis with Mathematical Programng Methods*, Prentice Hall. England.

- Thomas, R. (1991), *Traffic Assignment Techniques*. Avebury Technical. England.
- Transportation Research Board (1985): "Highway capacity manual", Special Report 209, Washington DC.
- Van Vuren, T. and R.D. Davies (1992): "The use of shadow networks in the determination of limits to traffic growth in heavily-congested networks", *Traffic Engineering and Control* July/August, pp. 425-428.
- Wardrop, J.G. (1952): "Some theoretical aspects of road traffic research", *Proc. Inst. Civ. Eng Part II*, pp. 325-378.
- Williams, H.C.W.L. and W.M. Lam (1991): "Transport policy appraisal with equilibrium models II: model dependence of highway investment benefits", *Transportation Research* 25, pp. 253-279.

Abstract

In this paper, we conduct an ex ante valuation of an investment project on road infrastructure for a middle-sized Spanish town. Our main contribution is to perform a cost-benefit analysis that takes into account network effects as well as, the optimal responses of final users to changes in road infrastructure.

*Recepción del original, marzo de 1997
Versión final, mayo de 1998*