

PRECIOS ÓPTIMOS EN EL TRANSPORTE INTERURBANO POR CARRETERA*

OSCAR ÁLVAREZ SAN-JAIME

PEDRO CANTOS SÁNCHEZ

Universidad de Valencia

ROBERTO PEREIRA MOREIRA

Universidad de Vigo

La publicación del Libro Blanco [*European Transport Policy for 2010 (2001)*] reconoce la necesidad de fijar un precio eficiente para cualquier infraestructura de transporte, esto es, fijar un precio que iguale el coste marginal social, lo que conlleva establecer una estructura variable de precios, que dependa del tipo de vehículo y de vía, así como del momento temporal en que se analiza el tráfico. Nuestro trabajo tiene como objetivo principal la identificación y estimación de los principales componentes que integrarían un precio óptimo para el transporte interurbano por carretera en España. Utilizando datos para el año 2000 se estima dicha estructura de precios óptimos diferenciando por tipo de vehículo, y se comparan con los precios que se derivan del actual sistema impositivo sobre la carretera.

Palabras clave: precios, transporte interurbano, externalidades, coste marginal social, congestión.

Clasificación JEL: H23, R41, R48.

En los últimos años se ha asistido a un intenso debate a nivel europeo sobre los principios de la tarificación en el transporte, y muy especialmente en el de la carretera. En esta línea, los esfuerzos de la Comisión Europea por alcanzar un cambio en el régimen de precios del sistema de transporte han cristalizado en la publicación de importantes documentos, entre los que cabe destacar el *Green Paper Towards fair and efficient pricing in transport* de 1995, el *White Paper Fair payment for infrastructure use* de 1998, y el más reciente *White Paper European Transport Policy for 2010* de 2001.

(*) Los autores agradecen la financiación recibida por el Ministerio de Fomento (proyecto 20020719-FOM/2002/04), así como la ayuda prestada dentro del proyecto SEJ2004-00110 del Ministerio de Ciencia y Tecnología. También desean agradecer el apoyo y los comentarios de Matilde Fernández y Pedro Tena (Ministerio de Fomento). Asimismo las sugerencias y comentarios de los evaluadores de la revista han incrementado notablemente la calidad final del trabajo.

En todos estos documentos subyace la idea de la necesidad de un cambio en el sistema de tarificación del transporte que facilite un sistema de transporte más eficiente y equitativo. Este objetivo sólo puede cumplirse en la medida que la nueva estructura de precios esté basada en el principio del *coste marginal social*. Si los precios del transporte reflejaran exactamente el coste marginal social derivado de su actividad se estaría maximizando, desde el punto de vista de la teoría económica, el bienestar de la sociedad, dado que los beneficios asociados al transporte igualarían no sólo los costes privados, sino también al resto de costes que pudieran afectar al sistema de transportes y a la sociedad en su conjunto.

De este modo se plantean algunas cuestiones interesantes sobre el sistema de transportes en España. ¿Cuál es la estructura eficiente de precios? ¿En qué medida el actual sistema de precios se aproxima o se aleja de dicha estructura eficiente? Es obvio que este análisis debe realizarse a un nivel lo más desagregado posible. En este sentido, un aspecto que debe tenerse muy en cuenta es el contexto en el que se evalúa el sistema de precios y la presencia de externalidades. En particular, la existencia de externalidades (sobre todo, las relativas a congestión, ruido y polución) afecta principalmente a los entornos urbanos, mientras que otros tipos de externalidades (como las derivadas de los accidentes) afectan de un modo más notable a los entornos interurbanos.

Nuestro trabajo se centrará en la determinación de los precios óptimos para el tráfico interurbano en España. El análisis se ciñe al año 2000, pues es el año en el que se dispone de un mayor volumen de información. Asimismo es obvio que el precio óptimo depende del tipo de vía o espacio geográfico, del tipo de vehículo y del momento que se realiza el transporte. Los actuales sistemas de precios, basados fundamentalmente en estructuras impositivas de carácter homogéneo, no permiten una adecuada relación entre costes y precios a un nivel desagregado como antes se ha señalado. No obstante, la introducción de las nuevas tecnologías aplicadas al tráfico está permitiendo la adaptación de nuevos sistemas de precios más flexibles que permiten una mayor adecuación entre precios y costes, y por tanto, la aproximación hacia un sistema de transportes más eficiente.

A nivel académico, los primeros análisis de la tarificación de infraestructuras en presencia de externalidades comienzan con Pigou (1920). Pigou señala ya que un precio óptimo debe ser aquel que se iguale al coste marginal, coste que debe incluir no sólo el coste privado que ocasiona el uso de la infraestructura, y que es soportado por el propio usuario, sino también los costes adicionales que dicho usuario crea, pero que son soportados por otros usuarios, en concreto los denominados costes por congestión. Posteriormente, algunos autores como Walters (1961) y Vickrey (1969) desarrollaron y ampliaron el concepto del llamado *impuesto pigouviano* como mecanismo para fijar precios óptimos. Finalmente, este análisis sobre la congestión ha sido extendido por la literatura a otro tipo de externalidades distintas, principalmente accidentes y medioambiente.

Los trabajos de Newbery (1988a, 1988b, 1989, 1991) desarrollaron el análisis de la tarificación específica de las carreteras, tanto desde el punto de vista teórico como empírico. Posteriormente se han seguido publicando numerosos trabajos cuyo objetivo fundamental ha sido determinar las ventajas e inconvenientes de cualquier cambio tarifario en el sistema de transporte por carretera [ver entre otros,

Greene *et al.* (1997), Lindberg (2001), Larsen y Østmoe (2001), Ahlstrand (2001), Suter y Walter (2001), Proost *et al.* (2002)]. Si bien es cierto que la mayoría de estos trabajos están destinados al análisis del transporte urbano, en todos ellos se deduce la necesidad de introducir cambios en los actuales sistemas de precios del transporte en su totalidad, que permitan unos niveles de tráfico adecuados, y por tanto, reduzcan los actuales problemas derivados de las externalidades.

De esta forma, también podemos encontrar numerosos informes de entidades públicas que han analizado esta cuestión a nivel interurbano. Algunos de ellos pertenecen a proyectos europeos (PETS, TRENEN II, EUROTOLL, TRANSPRICE, UNITE, y MC-ICAM), mientras que otros pertenecen a trabajos realizados para un determinado Estado [Sansom *et al.* (2001), Oscar Faber y NERA (2002), Dings *et al.* (1999), Dings *et al.* (2003), Vermeulen *et al.* (2004)]. También existen estudios financiados por asociaciones internacionales como la *Union Internationale des Chemins de Fer* [INFRAS/IWW (2000, 2004)] centrados fundamentalmente en la valoración de las externalidades de tipo medioambiental y las asociadas a los accidentes.

El objetivo del presente trabajo se centra en la fijación de un sistema de precios variable para el transporte interurbano por carretera basado en un sistema de peaje automático. Dependiendo de la disponibilidad de información, nuestro análisis pretende establecer cuál es el precio óptimo del tráfico por carretera, diferenciando el estudio por tipo de vehículo, vía y momento del tiempo. Asimismo se detallarán los diversos conceptos susceptibles de considerarse dentro de la definición del precio óptimo. Una vez determinados los precios óptimos a partir de la estimación del coste marginal social, se calcularán los precios actuales que se derivan del sistema impositivo, permitiendo fijar las divergencias entre el nivel actual y el nivel óptimo de precios.

En todo caso deben apuntarse algunas limitaciones importantes de nuestro trabajo. Así, las estimaciones de las diferentes externalidades dependen de distintos supuestos o valoraciones, que siguen constituyendo un tema de debate empírico dentro de la literatura económica. Así ocurre con la valoración del tiempo en la estimación de la congestión, de la vida humana para el caso de los accidentes, o de las emisiones medioambientales o del ruido para el caso de los impactos sobre el medio ambiente. También existen diferentes sistemas de asignación de costes entre distintos tipos de vehículo o entre tipos de carreteras que pueden diferir según la metodología o el país que analiza los costes. La aplicación de un sistema u otro puede modificar los resultados¹.

A continuación la sección 1 desarrolla los problemas en la estimación de los diversos componentes que aproximan el coste marginal social en nuestro trabajo (costes por daños a la carretera, congestión, accidentes y medioambiente). La sección 2 integra todos los resultados, presentando un sistema alternativo de precios, además de comparar los niveles actuales de precios con los niveles óptimos. La sección 3 discute las principales conclusiones del trabajo.

(1) Un trabajo reciente de Dings *et al.* (2003) destaca el hecho de que las valoraciones de las externalidades en transporte entre diferentes trabajos y países son muy similares cuando la metodología empleada para su cálculo no es muy diferente.

1. EL COSTE MARGINAL SOCIAL DE LA CARRETERA

Antes de pasar a estimar los diferentes componentes que integran el concepto de coste marginal social debe definirse con precisión dicho concepto. Siguiendo la notación empleada en De Rus *et al.* (2003), los costes totales de la carretera (CTC) se componen de la suma de los costes del productor (costes de inversión y mantenimiento), los costes de los usuarios (coste de los vehículos, costes de tiempo, etc) y de otros posibles costes externos (accidentes, medioambiente, etc.). De este modo:

$$CTC = CT^{productor} + CT^{usuarios} + CT^{externalidades} \quad [1]$$

Por otra parte, debe resaltarse que nuestro análisis se centra en el corto plazo, en la medida que se analizan los impactos del tráfico sobre las actuales dotaciones de infraestructuras, sin permitir decisiones que puedan modificarlas. De este modo y si derivamos la ecuación anterior respecto al nivel de tráfico se obtiene el coste marginal de un viaje (CMg_{social})².

$$CMg_{social} = CMg^{productor} + CMg^{usuarios} + Q \left(\frac{\partial CMg^{usuarios}}{\partial Q} \right) + CMg^{externalidades} \quad [2]$$

El coste marginal del productor recoge los costes que causa sobre el estado del pavimento un vehículo adicional. El coste marginal por usuario incluye tanto los costes propios que éste genera cuando entra en la vía (combustible, operatividad y mantenimiento del vehículo, tiempo, etc) más los costes que el usuario adicional impone al resto de usuarios (coste extra de tiempo o congestión, coste extra de operatividad del vehículo). Por último, deben incluirse los costes marginales provocados por el resto de externalidades.

Por tanto, y dado que suponemos que el único componente que es asumido por el usuario es el coste medio de su decisión ($CMg^{usuarios}$), podría calcularse cuál es el precio óptimo que lograría que cada usuario tuviera que pagar por cada viaje un coste igual al coste marginal social. Este precio debería incluir los costes marginales derivados del daño a la vía, los costes por congestión y los costes marginales derivados del resto de externalidades, y vendría dado por:

$$P = CMg = CMg^{productor} + Q \left(\frac{\partial CMg^{usuarios}}{\partial Q} \right) + CMg^{externalidades} \quad [3]$$

A continuación, pasamos a describir cada uno de estos tres componentes.

1.1. Los costes por daños a la carretera

Este tipo de costes, identificado como el coste marginal del productor en la ecuación [3], está directamente asociado a la intensidad de tráfico y por tanto deben incluirse en la estimación del coste marginal. En este sentido, debe calcu-

(2) Nótese que los costes de inversión relativos a la construcción de la infraestructura son considerados costes fijos, por lo que no se incluyen dentro de la definición de coste marginal y quedan excluidos de nuestro análisis.

larse el coste adicional que supone para el mantenimiento y la operatividad de las infraestructuras su utilización por un usuario adicional. Por otra parte, el coste medio puede calcularse de manera sencilla como el cociente entre los costes derivados del gasto efectuado en tal concepto y el volumen de tráfico.

Si bien es de esperar que estos costes se incrementen con la intensidad de uso de la infraestructura, hasta la fecha se ha investigado muy poco sobre las divergencias que pueden producirse entre el coste variable medio y el coste marginal. Por ejemplo, el mantenimiento de vías con altas intensidades de tráfico será muy distinto de aquellas otras mucho menos demandadas. También el daño causado por razones climatológicas afectará de diversa manera a las carreteras dependiendo del trazado.

Algunos primeros análisis se derivan de los trabajos de Newbery (1989, 1991) donde se destacan algunos de los problemas en la identificación de este tipo de costes, así como de su asignación entre los diferentes tipos de vehículos. En nuestro trabajo seguiremos la reciente metodología propuesta por Dings *et al.* (1999) que proponen un modelo similar al utilizado en otros trabajos previos aunque algo más completo [véase Fowkes *et al.* (1992)]. Siguiendo el procedimiento habitual de asignar estos costes únicamente entre los diferentes tipos de vehículos, el resultado obtenido fue el siguiente³:

- El 22% de los costes se asigna según los criterios de reparto para el coste de capital, puesto que se considera que estos costes expanden el stock de capital⁴.
- El 33% se asigna en proporción a los PCU-km (*passenger-car units km*) recorridos en horario punta.
- El 23% en proporción a los PCU-km recorridos.
- El 22% restante en proporción al número de ejes estándar por tipo de vehículo.

En cuanto a los costes de mantenimiento de la red interurbana de carreteras hemos considerado los 1.232 millones de euros que suponen los gastos de conservación de las carreteras interurbanas realizados por todas las administraciones públicas para el año 2000. Este dato procede de las estimaciones proporcionadas por la Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP) en un estudio del año 2002. Los resultados aparecen en la segunda columna del cuadro 1. A efectos de comparar nuestros resultados con los de otros trabajos en otros países, se adjuntan las estimaciones para los casos británico [Sansom *et al.* (2001)] y holandés [Dings *et al.* (1999)].

La metodología alternativa desarrollada en Sansom *et al.* (2001) desagrega los costes en un amplio rango de conceptos, los cuales son repartidos entre los di-

(3) No disponemos de información desagregada para asignar los costes por tipo de vía, puesto que no disponemos del volumen de costes de mantenimiento en función de la vía según su capacidad.

(4) Los costes de capital se asignan en un 85% sobre la base de los PCU-km recorridos por los diferentes vehículos, y el 15% restante se asignan a los vehículos pesados en función de su carga máxima por eje y km recorridos. Los PCU (*passenger-car units*) reflejan el factor de utilización de la capacidad de la vía para cada tipo de vehículo. Una clasificación habitual asigna un índice de 1 para vehículos ligeros (coches y furgonetas), 1,68 para vehículos pesados no articulados, 2,46 para vehículos pesados articulados y con remolque, y 1,5 para autobuses.

Cuadro 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DE MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA (EN CÉNTIMOS DE € POR KM)

	Datos obtenidos en el trabajo	Estimación UK	Estimación Holanda
Autobuses	1,959	7,58	3,3
Camiones con remolque	2,354	9,94	4,6
Camiones sin remolque	1,494	5,49	2,3
Camionetas	0,417	0,47	1,6
Turismos	0,412	0,507	1,7
Motos	0,061	–	0,4

Fuente: Elaboración propia, Sansom *et al.* (2001) y Dings *et al.* (1999).

ferentes tipos de vehículos de un modo muy preciso según su capacidad de carga, número de ejes estándar y/o número de PCU-km. Esta metodología requiere de una abundante información de la que no se dispone en nuestro trabajo.

Los resultados obtenidos en el trabajo para el caso español son claramente inferiores a los obtenidos en los trabajos británico y holandés. En el caso británico, los costes para los vehículos pesados y los autobuses son claramente muy superiores a los casos holandés y español, si bien el coste unitario para los vehículos ligeros es muy similar al obtenido para España. La explicación a este resultado reside en el hecho de que el sistema británico de asignación de costes (más preciso que el utilizado en nuestro trabajo) penaliza mucho más a los vehículos pesados que el sistema utilizado por Dings *et al.* (1999).

Por otra parte, el valor tan bajo que se obtiene en nuestro trabajo puede deberse al escaso volumen de inversión destinado a la conservación de las carreteras. Existen varios datos que denotan claramente este hecho. En Betancor y Nombela (2003) se argumenta que los costes de mantenimiento en España suponen el 18% de los costes de capital, mientras que en Alemania dicho porcentaje supone el 27%. Un reciente informe también explicita el importante déficit de inversiones en conservación que arrastran las infraestructuras de carretera españolas. De hecho el Banco Mundial (véase documento del CICCPC de 2002) establece que el gasto en conservación de carreteras, en términos globales, debe situarse entre un 2 y un 3% del valor de reposición de la red. En los últimos años dicho porcentaje es de un 1,1% para el caso español. Según el mencionado estudio se estimó que para 1997 las necesidades de inversión anuales para mantener la red viaria en correcto estado se encontraban en torno a 2.104 millones de € anuales, a lo que habría que añadir una cantidad adicional de aproximadamente 3.185 millones de € para recuperar el déficit acumulado, derivado de la falta de inversión de años anteriores.

1.2. Los costes de la congestión en la carretera

Los costes de congestión responden al coste (en tiempo adicional y de operación del vehículo) que supone para un usuario de la carretera la introducción en

dicha vía de un vehículo adicional. Como ya señalamos en la introducción, los problemas más importantes de congestión aparecen fundamentalmente en las grandes ciudades y sus vías de acceso o salida. Esto justifica que la mayoría de los trabajos se haya dedicado al transporte urbano, si bien como ya se ha apuntado en la introducción, existen recientes trabajos que han extendido este análisis al ámbito interurbano.

Primeramente se describe, de modo resumido, la metodología empleada en la estimación de los costes marginales asociados a la congestión para diferentes tipos de vía, y el procedimiento para asignarlos entre los distintos tipos de vehículos. La técnica que seguimos es de carácter desagregado, pues es sabido que la congestión varía según el momento del día y el tipo de carretera. Esta técnica ha sido ampliamente desarrollada en los trabajos de Dodgson y Lane (1997) que a su vez se han apoyado en los conocidos trabajos de Newbery (1989 y 1991).

Para la aplicación del modelo se hace necesario poseer una base de datos sobre el tráfico lo más desagregada posible. La información que disponemos procede de los *Mapas de Tráfico* para el año 2000 publicados por el Ministerio de Fomento. En concreto se ofrece información sobre las intensidades medias diarias (IMD) por tipo de vehículo (motocicletas, vehículos ligeros, autobuses, camiones sin y con remolque) para cada estación de aforo. Dicha información se expresará a continuación en términos de PCU por carril, a partir de los ratios antes indicados que relacionan los índices de PCU por tipo de vehículo, y el número de carriles existente en el lugar donde se sitúa la estación de aforo.

Por tanto, la información es suficientemente desagregada en cuanto al tipo de vehículos que usan las diferentes carreteras, si bien no tenemos información desagregada sobre la distribución horaria del tráfico. Por ello, estableceremos supuestos sobre la distribución horaria del tráfico distinguiendo entre periodos punta y valle. También podemos distinguir entre los diferentes tipos de carretera, en concreto distinguiremos entre vías de alta capacidad (de 4 o más carriles) y vías simples (de 2 carriles, uno por sentido).

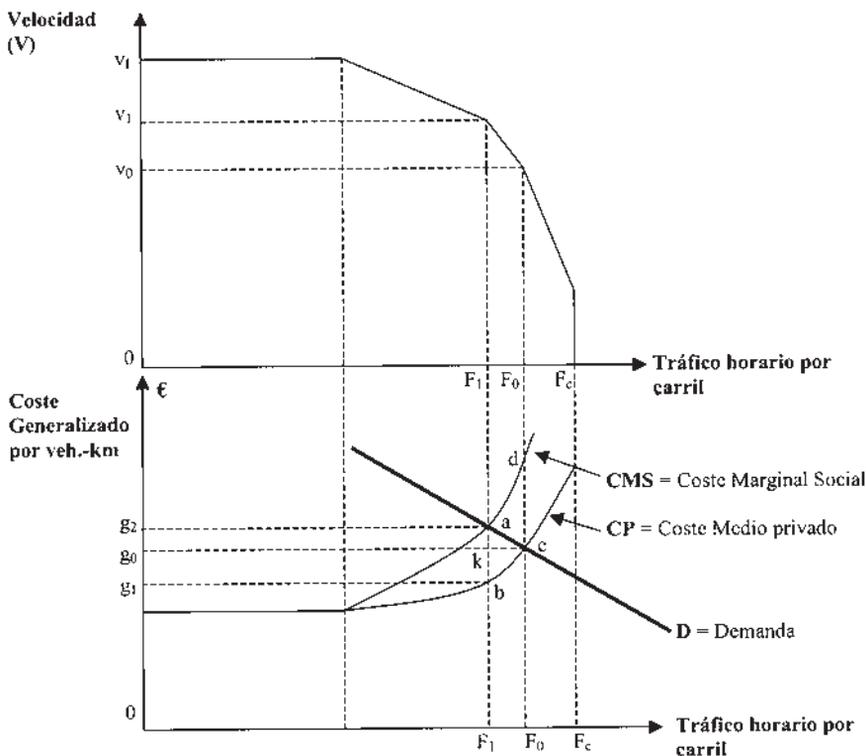
Para determinar el coste por congestión nos basamos en el análisis de los gráficos 1a y 1b, aproximación muy habitual en la literatura de la economía del transporte y de las externalidades. En particular, el gráfico 1a muestra la relación entre la velocidad y los flujos de tráfico para un particular tipo de carretera, mientras que el gráfico 1b muestra, junto a la demanda de transporte, los costes medios generalizados y costes marginales para los distintos niveles de tráfico (expresados habitualmente en unidades de PCU por km y carril), costes que se derivan del diagrama velocidad-flujo explicitado en el gráfico 1a.

La relación entre los flujos de tráfico, velocidad, costes de los vehículos y costes temporales determina la curva representativa de los costes privados medios (CP). Junto a esta curva se define la curva representativa del coste marginal social (CMS), la cual refleja el impacto de una unidad adicional de tráfico sobre los costes privados del resto de los vehículos. Como es sabido, introduciendo una tasa por congestión (distancia *ab* en el gráfico 1b) el tráfico además de cubrir sus propios costes privados, también cubre los costes marginales sociales, de modo que el nivel de tráfico sería eficiente al nivel F_1 .

Para determinar el volumen óptimo de tráfico así como la tasa por congestión, es necesario conocer en primer lugar las ecuaciones velocidad-flujo que nos permi-

Gráfico 1a: DIAGRAMA VELOCIDAD-FLUJO

Gráfico 1b: COSTES Y DEMANDA DEL TRÁFICO POR CARRETERA



Fuente: Elaboración propia.

tan determinar los niveles de velocidad del tráfico. Debido a la ausencia de este tipo de ecuaciones para el tráfico en España, optamos por emplear las ecuaciones utilizadas por el DTLR británico (*Department for Transport, Local Government and the Regions*), publicadas en los documentos del COBA más recientes (véase anexo)⁵.

Sobre la estimación del coste privado o coste generalizado⁶, tres son los componentes que se consideran de manera separada: los costes derivados del gasto en

(5) En cualquier caso, Sansom *et al.* (2001) muestran que los resultados apenas varían entre las ecuaciones empleadas por la DTLR y las empleadas en los sistemas de evaluación en USA. El modelo denominado COBA (*Cost-Benefit Analysis*) es el procedimiento de evaluación para puentes y carreteras que sigue el Ministerio de Transportes Británico (puede consultarse en el actualmente llamado *Department for Transport*, www.dft.gov.uk).

(6) Nótese que este coste es el relativo a los costes soportados por los usuarios, es decir, el segundo componente que aparece en la ecuación [1].

combustible (CC), los costes de depreciación del vehículo (CD) y el coste del tiempo para los ocupantes (CT).

Con respecto al primer componente, los costes de combustible por kilómetro se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones:

$$L = a + bV + cV^2 \quad [4]$$

$$CC = p * L = p(a + bV + cV^2) \quad [4-bis]$$

donde L expresa el consumo de combustible en litros por km, V es la velocidad en km/h, y a , b y c son parámetros definidos para cada tipo de vehículo. De nuevo se optó por considerar los parámetros empleados por el DTLR británico, al tratarse de las estimaciones más recientes encontradas. Para obtener finalmente el coste de combustible en euros por km, el consumo por km obtenido de la ecuación [4] se multiplica por el precio del combustible en euros por litro (representado por p), ecuación [4-bis].

Los parámetros para estimar las ecuaciones [4] y [4-bis] son los expresados en el cuadro A1 reflejado en el anexo. Al objeto de estimar el precio de combustible hemos considerado los precios de los diferentes tipos de combustible ponderados por los km recorridos por los distintos tipos de vehículos según el tipo de fuel consumido (véase cuadro A2 del anexo).

El segundo componente del coste privado representa los costes asociados a la depreciación (CD) del vehículo (neumáticos, aceite y mantenimiento general del vehículo). Utilizando de nuevo la metodología del DTLR la ecuación que expresa este tipo de costes se escribe como:

$$CD = a' + b'/V \quad [5]$$

donde CD son los costes de depreciación por km del vehículo, a' es un parámetro fijo relacionado con la distancia, y b' es un parámetro que refleja que los costes por depreciación decrecen con la velocidad. Los parámetros que caracterizan la ecuación [5] son los descritos en el cuadro 3 del anexo.

El tercer componente lo forman los costes del tiempo (CT) de los ocupantes de los diferentes tipos de vehículo en nuestro modelo de congestión. En concreto:

$$CT = \sum_{j=\text{ocupantes}} \frac{VT_j}{V} \quad [6]$$

donde VT_j es el valor del tiempo para cada ocupante en euros por hora, de modo que CT representa los costes del tiempo de todos los ocupantes del vehículo en euros por vehículo y km. En este punto, la estimación del valor del tiempo ofrece una gran diversidad de resultados (ver estimaciones en el cuadro A4 del anexo de algunos trabajos), por lo que las tasas de congestión son muy sensibles a los valores considerados.

Por otra parte también es importante considerar las tasas de ocupación de los vehículos, las cuales difieren dependiendo del motivo de viaje. Por lo que conocemos no existe esta información para el transporte en España por lo que hemos re-

currido a estudios internacionales. En concreto, hemos utilizado un índice medio de utilización de 1,6 por vehículo ligero que es el usado en UNITE (véase cuadro A5 del anexo para otras estimaciones).

Por último, también es necesario disponer de información sobre el porcentaje de viajes y los motivos que los originan. UNITE [Betancor y Nombela (2003)] supone un 18% para los viajes por motivo de trabajo, un 33% para los desplazamientos hacia/desde el trabajo y por motivos privados, y un 49% para los de ocio o turismo. Por otra parte, el programa COBA supone un 15% para los viajes por motivo de trabajo, y un 85% para el resto. En concreto, los valores de tiempo que consideramos finalmente en nuestro trabajo fueron los aportados en el informe de Oscar Faber y NERA (2002), pues permitía una mayor desagregación en la valoración del tiempo.

Una vez descrito cada uno de estos componentes, el coste medio privado (CP) por vehículo i del viaje por carretera en euros por km se puede expresar del siguiente modo:

$$CP_i = CC_i + CD_i + CT_i \quad [7]$$

De modo que:

$$CP_i = p_i (a_i + b_i V + c_i V^2) + a'_i + \frac{b'_i}{V} + \sum_{j=ocupantes} \frac{VT_{ji}}{V} \quad [8]$$

Agrupando términos:

$$CP_i = A_i + B_i V + C_i V^2 + \frac{D_i}{V} \quad [9]$$

donde:

$$A_i = a'_i + p_i a_i \quad [9a]$$

$$B_i = b_i p_i \quad [9b]$$

$$C_i = c_i p_i \quad [9c]$$

$$D_i = \left(\sum_{j=ocupantes} VT_{ji} \right) + b'_i \quad [9d]$$

Siguiendo a Newbery (1991) consideraremos el modelo en función de un vehículo representativo, por lo que ponderaremos las expresiones anteriores por el porcentaje que cada vehículo representa en volumen de tráfico dentro del total de vehículos-km. De este modo puede estimarse el coste privado para un vehículo promedio o representativo r , definido en términos del número medio de PCU por vehículo.

$$CP_r = A_r + B_r V + C_r V^2 + \frac{D_r}{V} \quad [10]$$

En último término, debemos incorporar la función de demanda para poder cerrar nuestro análisis. En concreto, supondremos una función de demanda lineal que muestre los cambios del tráfico en unidades de PCU ante variaciones en el coste privado del vehículo representativo. Suponiendo un valor unitario para la elasticidad de la demanda⁷, y a partir de los datos iniciales de tráfico y de coste privado del vehículo representativo, la ecuación de demanda puede obtenerse del modo siguiente:

$$X = \gamma - \beta CP_r \quad [11]$$

donde X representa el flujo de tráfico en términos de PCU por carril y hora, y CP_r es el coste privado en euros por km para el vehículo representativo.

Con toda esta información ya podemos obtener la tasa óptima por congestión así como los niveles de tráfico óptimos. En primer lugar podemos definir el coste total de los usuarios como:

$$CT^{usuarios} = CP_r X \quad [12]$$

Derivando la ecuación [12] se obtiene el coste marginal social (CMS_r), que representa el coste adicional que sufren todos los vehículos de la carretera cuando se introduce un vehículo adicional. Por tanto:

$$CMS_r = \frac{dCT^{usuarios}}{dX} = CP_r + X \frac{dCP_r}{dX} = CP_r + X \frac{dCP_r}{dV} \frac{dV}{dX} \quad [13]$$

De donde se obtiene que:

$$CMS_r = CP_r + X \frac{dV}{dX} \left(B_r + 2C_r V - \frac{D_r}{V^2} \right) \quad [14]$$

Nótese por tanto que CP_r representa el coste que es soportado por el usuario, mientras que el segundo término refleja los costes que soportan el resto de usuarios debido a la reducción de la velocidad que supone la introducción de un vehículo marginal. Este componente se corresponde con el segmento ab del gráfico 1b, representando así el coste por congestión.

Por último, para obtener el nivel de tráfico óptimo (nivel F_1 del gráfico 1b) debemos considerar cuál sería el nivel de tráfico si los usuarios soportaran el coste marginal social y no sólo el coste privado. Este nivel de tráfico se produce cuando dada la función de demanda, el usuario marginal cubre exactamente el coste marginal social. Por tanto, sustituyendo el valor del coste privado por el del coste marginal social en la función de demanda, se obtiene el nivel óptimo de tráfico X^* como:

(7) Puede demostrarse que la elasticidad de la demanda ante el precio del combustible es igual a la elasticidad respecto al coste generalizado ponderada por la participación del coste del combustible en el coste total del usuario. Suponiendo que los costes de combustible representan un tercio del coste total y que la elasticidad respecto al precio del combustible es -0,3 [Small (1992)], la elasticidad con respecto al coste generalizado que se obtiene está en torno a -1.

$$X^* = \frac{\gamma - \beta CP_r}{1 + \beta \frac{dV}{dX} \left(B_r + 2C_r V - \frac{D_r}{V^2} \right)} \quad [15]$$

De este modo, la ecuación [15] recoge la tasa de congestión (T^*) necesaria para que el nivel de tráfico sea óptimo y por tanto, el usuario cubra, además de sus propios costes, el coste marginal que provoca sobre el resto de usuarios:

$$T^* = X^* \frac{dV}{dX} \left(B_r + 2C_r V - \frac{D_r}{V^2} \right) \quad [16]$$

Los resultados, diferenciados por tipos de vía y momento del día, aparecen en los siguientes cuadros⁸. Además del valor del coste de congestión, es decir, del peaje óptimo por congestión, se incluye una columna donde se indica el aumento porcentual de la velocidad y la reducción porcentual de tráfico que se produciría tras la fijación de dicha tasa o peaje.

Cuadro 2: COSTES DE CONGESTIÓN EN CÉNTIMOS DE € POR PCU-KM (HORARIO PUNTA)

Nº carriles	Niveles de tráfico* (Tr)	Nº estaciones aforo contabilizadas	Coste externo congestión	% incremento velocidad	% reducción tráfico
6	Tr > 1800	4	13,353	65,10	11,98
6	1200 < Tr < 1800	9	3,896	6,30	11,87
6	Tr < 1200	10	0,025	0,001	0,01
Media			5,442		
4	Tr > 1800	4	12,101	58,22	10,53
4	1200 < Tr < 1800	24	2,772	4,17	8,61
4	Tr < 1200	208	0,012	0,018	2,32
Media			1,163		
2	Tr > 1750	3	12,059	38,49	18,33
2	1200 < Tr < 1750	6	4,498	5,01	12,79
2	Tr < 1200	470	0,288	0,06	2,84
Media			0,743		

* Los niveles de tráfico son estimados en PCU-km por carril.

Fuente: Elaboración propia.

(8) Consideraremos que el tráfico se distribuye a lo largo de 18 horas del día de las que 4 se consideran como horario punta que soporta un tráfico igual al doble del tráfico en horario valle.

De nuevo nos referiremos a los resultados de los trabajos internacionales antes apuntados. En concreto, el trabajo de Sansom *et al.* (2001) ofrece un resultado promedio de 5,81 cents. de € para las vías de gran capacidad (4 ó 6 carriles), y de 1,95 cents. de € para las de 2 carriles. Si bien la metodología es similar a la de nuestro trabajo, no podemos comparar de manera completa los resultados ya que no se dispone del valor del tiempo utilizado en Sansom *et al.* (2001).

Un trabajo que estima el coste de congestión a nivel interurbano es el de DIW *et al.* (1998), donde se obtuvo un abanico amplio de resultados, que abarcaba desde 16 cents. de € cuando los niveles de tráfico son superiores a 1800 PCU-km por carril, hasta 1 cent. de € para los niveles de tráfico más bajos (inferiores a 1200 PCU-km por carril)⁹. Como se puede comprobar, estos valores son ligeramente superiores a los obtenidos en nuestro trabajo. También en Dings *et al.* (1999) los resultados se mueven en un amplio rango que van desde 5 cents. de € hasta 1 €. No obstante, Dings *et al.* (1999) muestran que con una metodología distinta los costes de congestión pueden ser notablemente mayores¹⁰.

A continuación expresamos los costes externos de congestión por tipo de vehículo y tipo de vía aplicando los valores medios:

Cuadro 3: DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DE CONGESTIÓN
EN HORARIO PUNTA (EN CÉNTIMOS DE € POR KM)

	Autovías (6 carriles)	Autovías (4 carriles)	Resto red (2 carriles)
Autobuses	8,163	1,744	1,114
Camiones con remolque	13,387	2,860	1,827
Camiones sin remolque	9,142	1,953	1,248
Camionetas	5,442	1,163	0,743
Turismos	5,442	1,163	0,743
Motos	0,816	0,174	0,111

Fuente: Elaboración propia.

Para el tráfico en horario valle los costes marginales por congestión son los siguientes:

(9) Los resultados no están desagregados por tipo de vía.

(10) Dings *et al.* (1999) calculan alternativamente los costes de congestión bajo la premisa que cualquier expansión futura de la carretera debe financiarse con los peajes recaudados. De este modo el peaje (o coste por congestión) se calcularía como aquel que financia la expansión de la carretera a su capacidad óptima.

**Cuadro 4: COSTES DE CONGESTIÓN EN CÉNTIMOS DE € POR PCU-KM
(HORARIO VALLE)**

Nº carriles	Niveles de tráfico* (Tr)	Nº estaciones aforo contabilizadas	Coste externo congestión	% incremento velocidad	% reducción tráfico
6	1200 < Tr	3	7,260	5,51	12,63
6	Tr < 1200	27	0,074	0,013	1,27
Media			1,334		
4		236	0,0068	0	
2	1400 < Tr	6	9,352	36,03	18,09
2	1225 < Tr < 1400	3	3,573	3,89	10,84
2	Tr < 1225	541	0,147	0,045	3,29
Media			0,911		

* Los niveles de tráfico son estimados en PCU-km por carril.

Fuente: Elaboración propia.

De igual modo que con el horario punta, los costes externos de congestión por tipo de vehículo y tipo de vía aplicando los valores medios vendrían en el siguiente cuadro:

**Cuadro 5: DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DE CONGESTIÓN
EN HORARIO VALLE (EN CÉNTIMOS DE € POR KM)**

	Autovías (6 carriles)	Autovías (4 carriles)	Resto red (2 carriles)
Autobuses	2,001	0,010	1,366
Camiones con remolque	3,283	0,016	2,241
Camiones sin remolque	2,242	0,011	1,530
Camionetas	1,334	0,006	0,911
Turismos	1,334	0,006	0,911
Motos	0,200	0,0010	0,136

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se ha construido una media ponderada para los distintos tipos de vehículos, en función del tipo de vía utilizada y el momento del viaje.

Cuadro 6: COSTES DE CONGESTIÓN *MEDIOS* (EN CÉNTIMOS DE € POR KM)

Tipo de Vehículo	Coste Medio
Autobuses	2,298
Camiones con remolque	3,769
Camiones sin remolque	2,574
Camionetas	1,532
Turismos	1,532
Motos	0,229

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Accidentes

En este punto, es conveniente que la distinción entre costes sociales y costes externos quede especialmente definida, ya que esta diferenciación no siempre aparece claramente reflejada en la literatura. Si distinguimos entre *costes privados*, que son aquellos soportados por la persona que realiza la actividad de transporte y los *costes externos*, que son aquellos que afectan a terceros, la suma de ambos tipos de coste será por consiguiente el *coste social*, [ECMT (1998)]. La cuestión referente a la proporción que recae sobre cada accidente no está adecuadamente internalizada y sigue siendo muy discutida en la literatura. En todo caso, la externalidad puede proceder de dos fuentes [véase Jansson (1994) para un análisis más completo de este aspecto].

En primer lugar, la externalidad puede producirse si ante diferentes niveles de tráfico existe un cambio significativo en la probabilidad de accidente. La teoría es relativamente nueva [INFRAS/IWWW (2004)] y ha sido desarrollada durante los últimos años. El conocimiento empírico sobre los costes marginales de los accidentes es aun bastante pobre, si bien, se considera que los costes marginales de los accidentes, definidos como aquellos costes inducidos por un vehículo adicional, no están claramente definidos, ya que se producen efectos contrapuestos. Por un lado, es posible que los conductores sean molestados por el crecimiento del tráfico y entonces el número de accidentes crezca de forma más que proporcional. Pero también es posible que la velocidad media descienda con el incremento del tráfico y entonces el número de accidentes se incremente de forma más lenta que los volúmenes de tráfico. Así, en INFRAS/IWWW (2004) se obtiene que, exceptuando para niveles muy elevados de congestión (inhabituales en entornos interurbanos) los costes marginales externos de los accidentes eran iguales o ligeramente más bajos que el coste externo medio de los accidentes. Por ello, y ante la ausencia de información que permitiera contrastar este hecho, se optó por no analizar este componente de la externalidad.

En segundo lugar, la externalidad del coste derivado por los accidentes se produce cuando las compañías aseguradoras no cubren la totalidad del daño provocado [véase INFRAS/IWW (2004), pág. 32]. Éste será el componente que consideramos en nuestro trabajo. Respecto a las fuentes manejadas, se han usado datos de la DGT (2001), Ministerio de Fomento (2001) e INE (2003) para calcular el número de accidentes así como el número de víctimas (tipos de heridos y fallecidos). También se han usado datos procedentes del sector asegurador, UNESPA (2001) e ICEA (2001), para calcular los costes materiales y de grandes discapacidades. Para el cálculo de los costes médicos, nos hemos basado en datos actualizados del MOPTMA (1994) para costes hospitalarios por víctima (que no reflejan por tanto los costes sanitarios posteriores al alta en el hospital).

En general, a la hora de decidir qué parte de los costes sociales son considerados externos seguimos en lo posible el criterio usado por Dings *et al.* (1999). El cuadro 7 recoge los diferentes elementos del coste de los accidentes, separándose dichos costes en sociales y externos.

Sobre los *costes humanos* (que valoran el coste que supone el sufrimiento de las víctimas y sus seres queridos) se considera que sólo debe incluirse como coste externo aquella proporción que no es adecuadamente compensada por las compañías de seguros. Ésta es la razón por la que muchos trabajos opten por no incluir estos costes (UNITE, por ejemplo). Por el contrario, otros trabajos [Sansom *et al.* (2001)] establecen, en los casos en los que consideran que la estimación de estas externalidades es excesivamente alta, que un 40% de las mismas deben ser consideradas como una estimación adicional del coste soportado por las víctimas y familiares no adecuadamente compensado por los seguros, y cuya cuantía estarían dispuestos a pagar para reducir los riesgos del accidente.

En cuanto a los costes de cuidados médicos, en muchos trabajos se considera que un porcentaje relativamente alto, un 75% en Dings *et al.* (1999), son costes externos, pero en nuestro estudio, dado que sólo disponemos de los costes hospitalarios (pero no de costes de convalecencia y rehabilitación posteriores) suponemos que este coste hospitalario es asumido íntegramente por las compañías de seguros, al igual que el coste de las grandes discapacidades.

Los costes asociados a las pérdidas de productividad se consideran totalmente externos. Sobre los daños materiales, deben considerarse únicamente los no cubiertos por las aseguradoras. En lo que se refiere a los costes administrativos, los costes de gestión de las aseguradoras se consideran costes internos. Adicionalmente sí debemos incorporar como externalidades los costes relativos a los gastos de los procesos judiciales y de policía, así como los derivados de la congestión de los accidentes. Es evidente que para considerar estos aspectos es necesaria una amplia información, que en la mayoría de los casos no está disponible.

Respecto a los valores concretos manejados en los cálculos, en el epígrafe sobre costes humanos, se supone que los costes externos son la diferencia entre la valoración social de la vida y lo que las compañías aseguradoras pagan por vida perdida, es decir, por vida perdida el coste externo sería la diferencia entre 0,8173 millones de euros menos la indemnización media pagada 0,1021 millones de

euros¹¹. En el epígrafe pérdida de productividad suponemos, en línea con Aparicio *et al.* (2002), que la pérdida por fallecido es 0,216 millones de euros y por herido grave 0,003 millones de euros.

Cuadro 7: COSTES SOCIALES (TOTALES) Y COSTES EXTERNOS DE ACCIDENTES EN ESPAÑA, AÑO 2000

Elementos del coste	Costes sociales Millones de €	Costes externos Millones de €
Costes humanos (vidas)	4.920,00	4304,35
Costes hospitalarios	188,13	0
Costes grandes discapacidades	177,60	0
Pérdida de productividad	1.380,73	1380,73
Daños materiales	6.329,00	0
Costes administrativos	229,00	0
Programa de seguridad vial	495,78	495,78
Total costes accidentes en España	13.720,24	6.180,86

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el apartado relativo a los accidentes por carretera, hemos asignado el total de los costes externos para los distintos tipos de vehículo. Considerando únicamente los costes externos de los accidentes interurbanos, éstos suponen una cifra de 5.403 millones de €. Si asignamos estos costes en función de los tipos de vehículo involucrados por accidente en zona interurbana a partir de las estadísticas proporcionadas por la DGT (2001) para el año 2000, la distribución por tipo de vehículo quedaría del siguiente modo¹².

El alto coste externo resultante para las motos estaría explicado por el hecho combinado de la alta siniestralidad (con altos costes externos en vidas) que sufren éstas y un menor uso de motos (medido en veh-km) en los recorridos interurbanos. No obstante, recientes estimaciones [Vermeulen *et al.* (2004)] han elevado considerablemente la estimación de dicho coste para las motos en el ámbito interurbano holandés, registrando un valor de 47,4 céntimos de € (valor muy cercano al estimado en nuestro trabajo).

(11) Este valor se ha obtenido tras corregir por el nivel de renta española el valor (mediana) de la UE, calculado por INFRAS/IWW (2000) a partir de varios estudios previos.

(12) No tenemos información relevante para desagregar los costes por accidentes en función del tipo de vía.

**Cuadro 8: COSTES EXTERNOS POR ACCIDENTES POR VEH-KM
(EN CÉNTIMOS DE €)**

	Datos medios obtenidos para España	Estimación UK	Estimación Holanda
Autobuses	8,163	1,744	1,114
Autobuses	1,979	6,01	6
Camiones con remolque	1,013	1,74	2,5
Camiones sin remolque	2,607	2,43	4
Camionetas	2,611	1,02	2,7
Turismos	2,705	2,71	2,7
Motos	49,292	–	16

Fuente: Elaboración propia, Sansom *et al.* (2001) y Dings *et al.* (1999).

1.4. Medioambiente

Dada la ausencia de estimaciones propias para el tráfico interurbano en España hemos optado por considerar los valores estimados en el trabajo de Sansom *et al.* (2001). La principal razón consiste en que la desagregación de sus resultados es muy similar a la que se usa en nuestro trabajo. Por otra parte, y por razones de prudencia estimativa, optamos por incorporar únicamente los valores más bajos de dicho trabajo. Los resultados que empleamos son los que aparecen desagregados por tipo de vehículo y para el ámbito interurbano en el cuadro 9a¹³:

**Cuadro 9a: COSTES MEDIOAMBIENTALES EN EL REINO UNIDO
(ZONA INTERURBANA) POR VEHÍCULO-KM EN CÉNTIMOS DE €**

	Contaminación	Ruido	Cambio climático
Autobuses	5,180	0,147	0,926
Camiones con remolque	2,319	0,123	1,172
Camiones sin remolque	2,795	0,098	0,713
Camionetas	1,180	0,032	0,303
Turismos	0,295	0,016	0,196
Motos	–	–	–

Fuente: Elaborado a partir de Sansom *et al.* (2001).

(13) Los trabajos que valoran de manera distinta las externalidades medioambientales en ámbitos urbanos e interurbanos, obtienen valores muchos más elevados para los casos urbanos.

Como comparación el cuadro 9b ofrece los resultados obtenidos para zonas interurbanas en Holanda. Los valores más elevados para el caso holandés (que también son en general mayores que los valores medios en el caso británico) pueden producirse debido a la alta densidad poblacional, que hace que la intensidad del tráfico interurbano sea muy elevada, y por tanto, mayor los problemas medioambientales. Esto justificaría nuestra elección de los valores medioambientales más bajos utilizados en Sansom *et al.* (2001)¹⁴. En todo caso se debe destacar que las valoraciones de este tipo de externalidades son las más variables dependiendo del trabajo y del análisis considerado.

Cuadro 9b: COSTES MEDIOAMBIENTALES EN HOLANDA
(ZONA INTERURBANA) POR VEHÍCULO-KM EN CÉNTIMOS DE €

	Contaminación	Ruido	Cambio climático
Autobuses	6	1	3
Camiones con remolque	9	2	4,4
Camiones sin remolque	2,1	0,6	1,6
Camionetas	1,1	0,3	1,3
Turismos	0,5	0,2	1
Motos	–	1,2	–

Fuente: Elaborado a partir de Dings *et al.* (1999) y Dings *et al.* (2003).

1.5. Los ingresos de la carretera

En este apartado se realiza una aproximación al cálculo del precio que paga el usuario por cada km de carretera recorrido. En el caso de la carretera debe quedar claro que el sistema de precios está basado en una estructura impositiva de carácter especial. Dicha estructura se compone de un sistema mixto en el que se combinan impuestos fijos con otros de carácter variable. En el caso de los impuestos de carácter variable gravados en la adquisición de combustible, además del usual impuesto sobre el valor añadido, existe un impuesto especial (impuesto sobre hidrocarburos) que grava el consumo de combustible. Los impuestos fijos vienen dados por el impuesto de circulación y otros como el impuesto por adquisición de vehículos.

Para calcular la recaudación del impuesto de hidrocarburos hemos tomado los datos ya conocidos sobre el consumo de carburante por km. Se ha supuesto además que la velocidad media en las carreteras interurbanas ha sido de 100 km/hora para los vehículos ligeros, 80 km/hora para los vehículos pesados y 85

(14) Una técnica alternativa podría consistir en ajustar todos los niveles de las variables en función de los niveles de renta. Dado que hemos considerado los valores inferiores de las emisiones, no hemos creído conveniente realizar adicionalmente este ajuste.

km/hora para los autobuses. Asimismo se consideró la proporción existente entre vehículos de gasolina y diesel ya utilizada en el apartado de congestión.

A continuación debemos asignar la recaudación del impuesto de circulación entre los diferentes tipos de vehículos. Se elaboró un índice relativo que recogiera una media sobre las diferencias en el tipo impositivo por vehículo. A partir de este índice de ponderación y de los km recorridos por tipo de vehículo se procedió a asignar la recaudación por este impuesto, que fue de 1.482,059 millones de € para el año 2000, según los datos de la DGT.

Por último, consideramos la recaudación del impuesto de matriculación (más el IVA) después de la adquisición de un nuevo vehículo, teniendo en cuenta que los vehículos pesados están exentos de este impuesto (por lo que sólo pagan el IVA). Así, la recaudación por el impuesto de matriculación, según datos de la Agencia Tributaria, fue de 1.308,07 millones de € para el año 2000, ascendiendo hasta 3.462,3 millones de € si incluimos el IVA de los vehículos ligeros. De este modo, los 2.154,23 millones de € recaudados por IVA se asignaron en función de los vehículos matriculados para ese año y en función de un precio medio por tipo de vehículo. El precio medio para los vehículos pesados se calculó a partir de la información desarrollada en el “*Observatorio de costes para el transporte de mercancías por carretera*” realizado por el Ministerio de Fomento para el año 2000. Utilizando estos criterios, el impuesto de circulación y de matriculación sobre turismos y motos fue asignado entre los vehículos ligeros.

Los resultados finales en cuanto a la asignación del impuesto de circulación y de adquisición de vehículos más los impuestos de carácter variable aparecen en el cuadro 10:

Cuadro 10: ASIGNACIÓN DE IMPUESTOS ASOCIADOS A LA CARRETERA
(EN CENTIMOS DE € POR KM)

	Imp. de circul.	Imp. adquisic. veh.	Imp. hidrocarb.	IVA	TOTAL
Autobuses	1,006	0,010	8,002	1,280	10,299
Cam. con rem.	1,097	3,407	12,764	2,042	19,310
Cam. sin rem.	1,006	3,407	6,883	1,101	12,397
Camionetas	0,701	1,262	4,921	0,787	7,671
Turismos	0,609	1,262	2,908	0,465	5,244
Motos	0,152	1,844	1,034	0,166	3,196

Fuente: Elaboración propia.

2. RESULTADOS

El cuadro 11 ofrece de forma resumida los principales resultados por tipo de vehículos para la carretera. En él podemos observar los costes marginales y los ingresos medios calculados, así como los ratios de cobertura de los ingresos (impuestos) sobre los costes. Debe destacarse que en realidad los costes marginales aquí definidos representan una aproximación a su verdadero valor en la medida que los diferentes componentes que definen dicho coste se han distribuido entre tipos de vehículos o de vía utilizando diferentes sistemas de asignación¹⁵. Asimismo, y dado que se trata la cuestión de fijar precios considerados eficientes en función de su aproximación a los costes marginales, debe recordarse que en estos resultados no se contempla el problema de la cobertura de los costes fijos asociados a la construcción de las infraestructuras.

En todo caso, debe considerarse que, a excepción del coste marginal por congestión, para la estimación del coste externo de los accidentes y el relativo al impacto ambiental se ha calculado un coste medio. Como ya se ha apuntado, es de esperar que las diferencias entre el coste marginal y el coste medio externo derivado de los accidentes no sean significativas. En el caso del coste asociado al impacto ambiental, no parece que las divergencias entre el coste medio y marginal sean tampoco relevantes en un contexto interurbano (sí lo podrían ser a nivel urbano). Las dificultades metodológicas también son un impedimento para diferenciar entre coste medio y marginal. Por último, cuando se estiman los costes derivados del mantenimiento de la infraestructura el efecto derivado de una mayor intensidad de tráfico se recoge al ponderar de distinta manera el tráfico producido en hora punta en el momento de distribuir dichos costes, si bien la disponibilidad de información limita las posibilidades de una estimación más precisa. Por estas razones, es de esperar que los costes medios obtenidos no sean muy distintos de los costes marginales, de modo que éstos pueden agregarse para obtener una aproximación al coste marginal social.

- De la lectura del cuadro 11 podemos obtener algunas conclusiones interesantes:
- A excepción de los autobuses y las motocicletas, el resto de vehículos paga un precio superior a la suma de los costes marginales que provoca cada tipo de vehículo. Debe resaltarse que se trata de tráfico interurbano, aspecto que debe claramente diferenciarse de la problemática urbana.
 - Son los vehículos pesados los que soportan un precio relativo mayor comparado con los costes marginales que provocan. Este resultado es importante, puesto que todas las iniciativas (a nivel europeo) destinadas a modificar los sistemas interurbanos de precios han ido dirigidos en primer lugar hacia el transporte pesado¹⁶.

(15) Esta aproximación es usual en los trabajos aplicados [Sansom *et al.* (2001), Dings *et al.* (1999, 2003)] que definen como coste marginal el resultado de asignar los conceptos de coste antes descritos entre los diferentes tipos de vehículos o vías. La ausencia de datos o las dificultades metodológicas aconsejan emplear este tipo de aproximación a los diferentes componentes de coste marginal social.

(16) Sansom *et al.* (2001) también encuentran, por lo general, ratios precio/coste marginal para los vehículos pesados superiores a los obtenidos para los turismos.

Cuadro 11: RELACIÓN ENTRE COSTES E INGRESOS DE LA CARRETERA

	Costes marginales totales (en cents. € por km)	Precio total (en cents. de € por km)	Ratio Precio/CMg
Autobuses	12,490	10,299	0,824
Camión con remolque	10,751	19,311	1,796
Camión sin remolque	10,282	12,397	1,205
Camionetas	6,076	7,671	1,262
Turismos	5,157	5,245	1,017
Motos	49,582	3,196	0,065

Fuente: Elaboración propia.

- Los turismos pagan (en promedio) un precio muy similar al coste marginal que provocan. Este resultado denota que los niveles medios actuales para los precios aplicados a los vehículos ligeros son adecuados. No obstante, una discusión distinta consiste en que los costes marginales puedan variar de forma muy significativa tanto en el tiempo (horarios punta *versus* valle) como en el espacio (diferentes tramos viarios). Este resultado se produce cuando se estiman los costes de congestión, dado que éstos son muy variables dependiendo del tipo de vía y momento del viaje.
- Asimismo el caso de las motocicletas requiere un comentario añadido. El ratio es extremadamente pequeño, debido a la elevadísima tasa de accidentalidad de este tipo de vehículos, lo que incrementa de modo espectacular sus costes sociales.
- Entre la literatura internacional es complicado encontrar resultados que sean comparables a los obtenidos en el cuadro anterior¹⁷. En todo caso, Sansom *et al.* (2001) estiman para el caso interurbano, un ratio de 1,04 para las vías de más de 4 carriles, y de un valor promedio de 1,2 para el resto de vías¹⁸. Otros trabajos, como el de Proost *et al.* (2002), han estimado para los casos interurbanos de Bélgica e Irlanda unos ratios respectivos de 0,69 y 0,72 para un turismo de gasolina en horario punta, pero de 1,1 y 1,06 para un mismo turismo en horario valle. Un valor promedio de este resultado proporcionaría un ratio precio/costes marginal inferior al obtenido en nuestro trabajo y al de Sansom *et al.* (2001). La razón puede encon-

(17) Si bien es cierto que las diferencias metodológicas y de tipo de información utilizadas dificultan en muchos casos una comparación directa de los resultados de los trabajos internacionales con los aquí presentados, su análisis conjunto aporta una primera aproximación al estado del problema planteado en el trabajo.

(18) Se trata de la referencia más comparable con nuestro trabajo, dado que se ha empleado la misma valoración para las externalidades medioambientales.

trarse en el hecho que en el trabajo de Proost *et al.* (2002) se analizó un conjunto restringido de rutas interurbanas, además de utilizar una distinta valoración de las externalidades.

- Como conclusión, puede afirmarse que el actual sistema impositivo genera recursos suficientes para cubrir los costes marginales del transporte. No obstante, las mayores críticas que pueden efectuarse a dicho modelo es la asimetría entre precios y costes que se produce al desagregar los costes entre los diferentes tipos de vehículos y de infraestructura. Por otra parte dicha asimetría también es muy notable cuando los costes por congestión se desagregan en función del momento del día o del tiempo evaluado.

3. CONCLUSIONES

El presente trabajo pretende ofrecer una primera estimación sobre los diferentes conceptos que integran el coste marginal social por el uso de las carreteras interurbanas. Dadas las restricciones metodológicas, en algunos casos, y la no disponibilidad de información, se ha debido aproximar algunos de estos componentes según el coste medio, si bien, no es de esperar que la diferencia entre los costes medios y marginales sea significativa. Asimismo, la aproximación obtenida para el coste marginal social se ha desglosado para los diferentes tipos de vehículos, obteniendo así una estimación del que podríamos considerar el precio óptimo para el año 2000.

El sistema impositivo actual produce, por lo general, ingresos superiores a los costes marginales asociados al transporte interurbano de carretera. Este resultado ya se apuntaba en recientes trabajos como el de Aparicio *et al.* (2002). Son, sobre todo, los vehículos pesados de mercancías los que soportan un precio relativo mayor con respecto a su coste marginal, por lo que difícilmente puede justificarse un gravamen mayor.

La principal discusión sobre la modificación del actual sistema impositivo sobre la carretera descansa en las evidentes asimetrías que se producen tanto a nivel temporal como geográfico. Es evidente que si se desea un sistema de transporte eficiente se ha de cambiar hacia un sistema de impuestos básicamente de carácter variable, ya que los impuestos fijos pueden garantizar un volumen alto de ingresos, pero son claramente ineficientes desde el punto de vista de la asignación y el uso de la carretera. Un nuevo sistema de precios eficiente conllevaría, de manera agregada, incluso una clara disminución de los ingresos, si bien, los precios variarían de manera muy significativa dependiendo del horario, la vía utilizada y el tipo de vehículo.

En todo caso existe toda una serie de cuestiones que también deben ser evaluadas antes de un cambio tarifario tan notable. En primer lugar debe señalarse que la introducción de un sistema de peaje automático como el mencionado conlleva unos elevados costes de implementación técnica que deben compensar los beneficios que se derivarían de una tarificación más eficiente. Por otra parte, el cambio de estructura de precios como el que aquí se propone tiene evidentes dificultades en su nivel de aceptación social, por lo que los beneficios que se derivarían de este cambio (disminución de externalidades, menores niveles de tráfico, mayor competitividad económica, etc) deberían ser convenientemente explicados. Inclu-

so como se desprende del cuadro 11, y exceptuando el caso de autobuses y motocicletas, el resto de vehículos se beneficiaría de una reducción del precio en término promedio. Además existe otra cuestión que puede alterar la validez de los resultados, y es la fijación de precios en modos de transporte competitivos a la carretera. Si otros modos de transporte (ferrocarril, avión, marítimo, etc) no tarifican según el principio de coste marginal social, la tarificación según este principio para la carretera dejaría de ser óptima.

Es evidente que si se desea llevar a cabo un cambio de régimen tarifario en el transporte, tal como promueve la Comisión Europea, este proceso debe introducirse de manera paulatina. Si bien los principales problemas de presencia de externalidades se centran en el entorno urbano, un ámbito donde se podrían visualizar las ventajas de un sistema de peaje automático serían las carreteras interurbanas de acceso/salida a determinadas urbes donde se han estimado importantes costes externos sobre todo de congestión en horario punta. Muchos de esos atascos aparecen de manera cada vez más continuada en muchos fines de semana, y fechas coincidentes con inicio y fin de periodos vacacionales.

ANEXO

Las ecuaciones flujo-velocidad utilizadas son las siguientes:

– Para autopistas y autovías de al menos dos carriles por sentido:

- [Hasta 1200 vehículos/hora/carril] $V = 109 - 0,001666 F$
- [De 1200 a 1800 vehículos/hora/carril] $V = 147 - 0,0333 F$
- [De 1800 a 2000 vehículos/hora/carril] $V = 420 - 0,185 F$

donde: V representa la velocidad en km/hora y F el flujo de vehículos por hora y carril.

– Para las vías de un único carril por sentido utilizaremos la siguiente relación:

- [Hasta 1225 vehículos/hora/carril] $V = 96 - 0,0057003 F$
- [De 1225 a 1400 vehículos/hora/carril] $V = 117,558 - 0,023255 F$
- [De 1400 a 1750 vehículos/hora/carril] $V = 217 - 0,09428 F$

Cuadro A1: PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS COSTES DE COMBUSTIBLE (A PRECIOS DE 2000)

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Coche de trabajo	0,16	-0,0026	1,74E-05
Coche no de trabajo	0,17	-0,0028	1,89E-05
Furgonetas	0,21	-0,0034	2,75E-05
Vehículo pesado rígido	0,49	-0,0079	5,7E-05
Vehículo pesado articulado	1	-0,0155	1,05E-04
Autobuses	0,76	-0,0119	7.48E-05

Fuente: Oscar Faber y NERA (2000).

Cuadro A2: PRECIOS COMBUSTIBLE (€)

	Gasolina con plomo	Gasolina sin plomo	Gasóleo (Diesel)
2000	0,875	0,819	0,701
2001	0,863	0,805	0,698

Fuente: Web del Ministerio de Economía y Hacienda.

Cuadro A3: COSTES OPERATIVOS DISTINTOS DEL COMBUSTIBLE

	a'	b'
Coche de trabajo	3,68	0
Coche no de trabajo	3,93	107,53
Furgonetas	4,53	45,45
Veh. pesado rígido	9,22	139,74
Veh. pesado articulado	10,3	283,07
Autobuses	19,11	320,34

Fuente: Oscar Faber y NERA (2000).

Cuadro A4: VALOR DEL TIEMPO DE UNA HORA DE VIAJE
(EN € DE 2000) POR PASAJERO

	O.F.-NERA	UNITE*	Ministerio**
Tiempo de trabajo		16,34	7,35
Conductor coche	26,41		
Pasajero coche	20,73		
Ocupante furgoneta	11,07		
Ocupante V. Pesado	11,07		
Conductor autobús	10,10		
Pasajero autobús	16,8		
Conductor taxi	12,08		
Pasajero taxi	35,95		
Tiempo fuera del trabajo	6,84		7,35
Privado/desplazamiento trabajo		4,09	
Ocio		2,73	

Fuente: Oscar Faber y NERA (2000), proyecto UNITE [Comisión Europea (2000)] y MOPTMA (1992).

* UNITE sólo distingue entre el valor del tiempo de trabajo y distinto al trabajo. No obstante se considera que en tramos congestionados el valor sería un 50% más elevado [Nellthorp *et al.* (2001), Betancor y Nombela (2003)].

** El valor considerado es una actualización del considerado en 1992 por el antiguo MOPTMA y no distingue la valoración por motivo de viaje.

Cuadro A5: ÍNDICES DE OCUPACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

	COBA	UNITE
Coche motivo trabajo	1,22	1,2
Coche motivo distinto al trabajo	1,6	
Privado/desplazamiento al trabajo		1,4
Ocio		2,1
Furgonetas motivo trabajo	1,2	n.d.
Furgoneta motivo distinto al trabajo	1,59	n.d.
Vehículos pesados	1	n.d.
Autobuses	13,1	n.d.

Fuente: Ecuaciones empleadas en el modelo británico COBA (*Cost-Benefit Analysis*) y proyecto UNITE [Comisión Europea (2000)].



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlstrand, I. (2001): "The politics and economics of transport investment and pricing in Stockholm", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 35(3), págs. 473-89.
- Aparicio, F. y A. Camarero (investigadores principales) (2002): *Estudio del Sector Transporte en España y su evolución: Horizonte 2010*, Madrid, Instituto de Estudios de Automoción, (Estudio realizado por la Universidad Politécnica de Madrid para ANFAC, AOP, RACE, y AEC).
- Betancor, O y G. Nombela (2003): *The Pilot Accounts for Spain*, UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 8 Annex 3, ITS, University of Leeds, Leeds.
- Comisión Europea (1995): *Green Paper "Towards fair and efficient pricing in transport"*, COM(95) 691 final, Brussels.
- Comisión Europea, (1998): *White Paper "Fair Payment for infrastructure use"*, COM(98) 466 final, Brussels.
- Comisión Europea, (2001): *White Paper "European Transport Policy, 2010: Time to decide"*, Brussels.
- Comisión Europea (2001): "PETS: Pricing European Transport System". Proyecto financiado dentro del 4º Programa Marco de I+D de la Unión Europea.
- Comisión Europea (1999): "EUROTOLL: European Project for Toll Effects and Pricing Strategies". Proyecto financiado dentro del 4º Programa Marco de I+D de la Unión Europea.
- Comisión Europea (2001): "UNITE Project: Unification of Accounts and marginal costs for Transport Efficiency". 5º Programa Marco de I+D de la Unión Europea.
- Comisión Europea (2001): "MC-ICAM: Marginal Cost Pricing- Integrated Conceptual and Applied Modal Analysis". 5º Programa Marco de I+D de la Unión Europea.
- Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP) (2002): "Documento de síntesis y recomendaciones sobre la financiación de la conservación de carreteras en España". Madrid, CICCP.

- De Rus, G., Campos, J. y G. Nombela (2003): *Economía del transporte*, Barcelona, Antoni Bosch.
- Dings, J.M.W., Janse, P.A., Leurs, B.A. y M.D. Davidson (1999): “Efficient prices for transport – Estimating the social costs of vehicle use”, Delft, CE (Centre for Energy Conservation and Environmental Technology).
- Dings, J.M.W., Davidson, M.D. y M.N. Sevenster (2003). “External and infrastructure costs of road and rail traffic – analysing European studies”, Delft, CE (Centre for Energy Conservation and Environmental Technology).
- DGT (2001): *Anuario Estadístico Accidentes 2000*, Madrid, Dirección General de Tráfico.
- DIW, INFRAS, HERRY, NERA (1998). *Infrastructure capital, maintenance and road damage costs for different heavy goods vehicles in the EU*. Main report.
- Dodgson, J.S. y B. Lane (1997): “The Costs of Road Congestion In Great Britain”, London, NERA.
- ECMT (1998): *Efficient Transport for Europe. Policies for Internalisation of External Costs*, Paris, (European Conference of Ministers of Transport) OECD Publications.
- Fowkes, A.S., Nash, C.A. y G. Tweedle (1992). “Harmonizing heavy goods vehicle taxes in Europe: A British Review”, *Transport Reviews*, vol. 12 (3), págs.199-217.
- Greene, D.L., Jones, D.W., y M. A. Delucchi (eds.) (1997): *The Full Cost and Benefits of Transportation: Contributions to Theory, Method and Measurement*, Berlin, Springer Verlag.
- ICEA (2001): *Siniestralidad por garantías en el seguro de autos. Datos 2000*, Informe nº 841, Madrid, ICEA (Investigación Cooperativa entre Entidades Aseguradoras).
- INE (2003): *Defunciones según Causa de Muerte, 2000*, Instituto Nacional de Estadística.
- INFRAS/IWW (2000) External Cost of Transport. Zurich/Karsruhe.
- INFRAS/IWW (2004): *External Cost of Transport. Update Study. Final Report*. Zurich/Karlsruhe.
- Jansson, J.O. (1994), “Accident Externality Charges”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 28 (1), págs. 31-44.
- Larsen, O.I. y K. Østmoe (2001): “The experience of urban toll cordons in Norway: lessons for the future”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 35 (3), págs. 457-71.
- Lindberg, G. (2001): “Traffic insurance and accident externality charges”, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 35(3), págs. 399-416.
- Ministerio de Fomento (2001): *Los transportes y los servicios postales. Informe anual 2000*, Madrid.
- MOPTMA (1992): *Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras*, Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- MOPTMA (1994): *Estudio sobre los costes de la accidentalidad en los diferentes modos de transporte*. Dirección general de Planificación Territorial, MOPTMA.
- Nellthorp, J., Sansom, T., Bickel, T., Doll, C. y G. Lindberg (2001): *Valuation Conventions for UNITE*, UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Deliverable 5 Annex 3, ITS, University of Leeds, Leeds.
- Newbery, D. (1988a): “Road user charges in Britain”. *The Economic Journal*, vol. 98, págs. 161-76.
- Newbery, D. (1988b): “Road damage externalities and road user charges”, *Econometrica*, vol. 56(2), págs. 295-316.
- Newbery, D. (1989): “Cost recovery from optimally designed roads”, *Economica*, vol. 56, págs. 165-85.

- Newbery, D. (1991): "Pricing and congestion: economic principles relevant to the pricing of roads", *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 6, págs. 22-38.
- Oscar Faber y NERA (2002): "Paying for road use: technical report". Commission for Integrated Transport. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Pigou, A.C. (1920): *The Economics of Welfare*, London, Macmillan.
- Proost, S., Van Dender, K., Courcelle, C., De Borger, B., Peirson, J., Sharp, D., Vickerman, R., Gibbons, E., O'Mahoney, M., Heaney, Q., Van den Bergh, J. y E. Verhoef (2002): "How large is the gap between present and efficient transport prices in Europe?", *Transport Policy*, vol. 9, págs. 41-57.
- Sansom, T., Nash, C., Mackie, P., Shires, J. y P. Watkiss (2001): "Surface Transport Costs and Charges", Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Small, K.A. (1992): "Urban transport economics: Fundamentals of pure and applied economics", New York, Harwood Academic Press.
- Suters, S. y F. Water (2001): "Environmental pricing-theory and practice: the Swiss policy of Heavy Vehicle taxation", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 35(3), págs. 381-97.
- Vermeulen, J.P.L., Boon, B.H., Van Hessen, H.P., Den Boer, L.C., Dings, J.M.W., Bruinsma, F.R. y M.J. Koetse (2004): "The price of transport. Overview of the social costs of transport", Delft, CE (Centre for Energy Conservation and Environmental Technology).
- Vickrey, W.S. (1969): "Congestion theory and transport investments". *American Economic Review*, vol. 59 (Papers and Proceedings), págs. 251-60.
- Walters (1961): "The theory and measurement of private and social cost of highway congestion", *Econometrica*, vol. 29 (4), págs. 676-97.

Fecha de recepción del original: julio, 2004

Versión final: julio, 2006

ABSTRACT

The White Paper (*European Transport Policy for 2010*, 2001) recognises the importance of establishing an efficient pricing system in any transport infrastructure. In other words, prices should be equal to the corresponding social marginal costs and, consequently, it is necessary to have a variable pricing structure depending on the type of vehicle, the infrastructure and the time period in which traffic is analysed. The main objective of our paper is the identification and estimation of the principal components of this optimal price in Spanish interurban road transport. Using data for the year 2000, our paper estimates the optimal prices according to vehicle type and compares these results with the prices estimated from the current road tax system.

Key words: prices, interurban transport, externalities, social marginal cost, congestion.

JEL classification: H23, R41, R48.