

EL COSTE SOCIAL DE LOS ACCIDENTES DE CARRETERA Y LA CONTAMINACION DEL AIRE

José C. CARBAJO*

Banco Mundial

Los usuarios de la carretera imponen cuatro tipos de costes sociales: deterioro de la infraestructura vial, costes de congestión, costes de accidentes, y los costes que se derivan del daño ocasionado al medio ambiente. Este artículo pasa revista al método de estimación del coste social de los accidentes de carretera y la contaminación del aire, y examina los instrumentos económicos disponibles para su internalización parcial. Para los accidentes de carretera es necesario desarrollar un sistema eficaz de seguro del automóvil, mientras que para la contaminación del aire se requiere el diseño de un conjunto de incentivos y reglamentaciones que minimice el coste económico de alcanzar un nivel de calidad del aire predeterminado.

1. Introducción

Los usuarios de la carretera imponen cuatro tipos de costes sociales: deterioro de la infraestructura vial a través del uso y desgaste del pavimento, costes de congestión, costes de accidentes, y los costes que se derivan del daño ocasionado al medio ambiente. Aunque la magnitud exacta de estos costes es incierta, se ha estimado que el coste social de los accidentes de carretera en algunos países de la OCDE oscila entre el 1.5 y 2.5 por ciento del PNB, mientras que el coste de la contaminación del aire a causa de los automóviles varía entre el 0.15 y 0.5 por ciento del PNB (OCDE, 1990a). Los factores que tienen una influencia decisiva en la determinación de tales costes son, entre otros, el reparto modal en el consumo de servicios de transporte, el índice de motorización especialmente en áreas urbanas, el programa vigente de inversión y mantenimiento de carreteras, los niveles de precaución y educación vial, la incidencia del sistema impositivo en la adquisición, uso y desguace de los automóviles y, sobre todo, el precio al que se enfrentan los automovilistas al decidir cuando, cómo y cuanto uso hacer de la carretera.

Los costes sociales asociados al uso de la infraestructura vial representan efectos externos negativos en la medida que ocasionan una pérdida de bienestar a los otros usuarios de la carretera (e. g., congestión) o a los no usuarios (e. g., contaminación atmosférica) y esta pérdida no se compensa. La tesis de este

* Los puntos de vista e interpretaciones expresadas en este artículo son los del autor y no deben atribuirse al Banco Mundial ni a ningún individuo que actúe en su nombre. El autor agrade los comentarios y sugerencias de los evaluadores anónimos de la revista.

artículo es que los economistas han prestado una atención desigual a la estimación de la magnitud de estos costes sociales así como al estudio de los precios como mecanismo eficiente para su internalización. Mientras que para el deterioro del pavimento y la congestión de tráfico el análisis económico ha contribuido en el pasado (e. g., Pigou, 1920; Walters, 1961), y continúa contribuyendo (e. g., Newbery, 1988a; Small *et al.*, 1989), a proponer soluciones prácticas y refinar el método de análisis en la dirección de una asignación más eficiente de los recursos, los costes de los accidentes y la contaminación medioambiental derivados del uso de la carretera han recibido una atención relativamente menor. La asimetría en el examen y tratamiento de los cuatro costes sociales no se corresponde necesariamente con su importancia relativa lo que debería guiar las prioridades de investigación en este área de la economía del transporte. Este artículo pasa revista al método de estimación del coste social de los accidentes de carretera y la contaminación del aire, analiza las dificultades existentes, y examina los instrumentos económicos disponibles para su internalización parcial.

La sección 2 contiene un breve repaso de los fundamentos económicos del precio óptimo que internaliza los efectos externos causados por el consumo de servicios de transporte. En las secciones 3 y 4 se examinan los problemas relacionados con la internalización de los costes de los accidentes de carretera y los costes de la contaminación del aire que producen los automóviles. El artículo finaliza con las conclusiones de la sección 5.

2. El precio óptimo de usar la carretera

Los principios económicos que informan cuál es la política a seguir para internalizar los efectos externos del uso de la carretera son simples y conocidos. El punto de partida es el supuesto que los usuarios de la carretera obtienen un beneficio privado neto medido por la diferencia entre su deseo de pagar por el uso de la carretera y los costes privados en los que incurren. Sin embargo, debido a la existencia de otros costes sociales que se generan a través del consumo de servicios de transporte, ésta debería, idealmente, limitarse de modo que el *beneficio privado marginal* neto de un vehículo-kilómetro adicional fuese igual a su *coste externo marginal*. En estas circunstancias, el nivel de daño económico se considera óptimo dado que la diferencia entre la suma de beneficios y costes sociales es máxima. El ejemplo más usado y que mejor ilustra lo anterior es el fenómeno de la congestión (gráfico 1).

Supongamos que sólo hay un tipo de vehículo. La decisión individual de viajar por carretera depende del coste generalizado del viaje (G) que consiste en los costes operativos variables (en el caso del automóvil privado), de la tarifa (en el caso del transporte público) y el valor del tiempo invertido. Los costes operativos variables (e. g., carburante) y la tarifa pública pueden incluir un impuesto (o subsidio), en cuyo caso el coste privado individual es diferente del coste social medio (C),

$$C = G - t \quad [1]$$

donde t representa el impuesto (o subsidio).

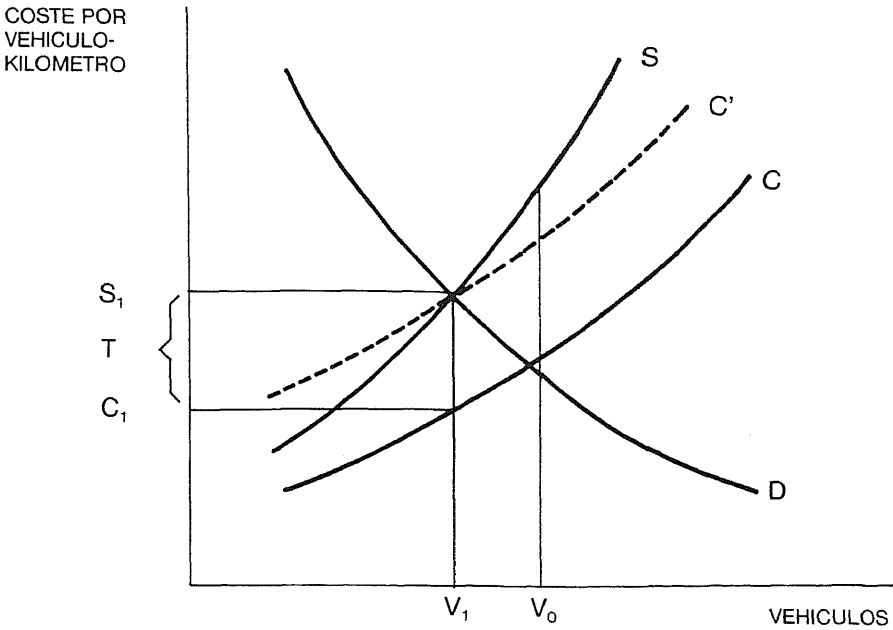


Gráfico 1

Cuando hay congestión, un incremento en el número de vehículos (V) reduce la velocidad del tráfico ocasionando un aumento en el tiempo de viaje y en los costes operativos ($dC/dV > 0$). Cuando el usuario considera realizar o no el viaje, y qué modo de transporte utilizar, sólo tiene en cuenta el coste adicional que para él representa su decisión, ignorando el efecto sobre el nivel de congestión y sobre el coste de viajar de los otros usuarios. Hay por tanto una diferencia entre el coste social medio (C) y el coste social marginal (S):

$$S = (dCV/dV) = C + V(dC/dV) = C(1 + e_c) > C \tag{2}$$

donde V es en número de vehículos que realizan el viaje y e_c es la elasticidad del coste social medio con respecto al número de vehículos.

Para cubrir la diferencia entre el coste social medio (C) y el coste social marginal (S) se debe fijar un precio (o impuesto) óptimo por viaje T de modo que

$$T = S - C = C e_c \tag{3}$$

lo que significa que los impuestos existentes deben aumentar en una cantidad

$$\Delta T = T - t = C_1 e_c - t \tag{4}$$

donde C_1 es el coste social medio óptimo correspondiente al número de vehículos V_1 .

El cálculo del precio óptimo T requiere, por tanto, el conocimiento de la función de demanda (D) y de la función de costes sociales unitarios (C). Alternativamente, se pueden obtener observaciones puntuales que permiten estimar las elasticidades de demanda y de costes y, de este modo, calcular por aproximación el precio óptimo.

La fijación de precios por el uso de la carretera cuenta con una literatura extensa donde se han estimado los costes de congestión en relación a la demanda de uso de la infraestructura vial¹. Asimismo, el daño físico que causan los automóviles al pavimento de las carreteras es un área familiar para los ingenieros y que recientemente ha visto contribuciones significativas de algunos economistas, notablemente Newbery (1988a). La naturaleza de los otros dos costes sociales, accidentes y contaminación del aire, hace muy difícil la previsión de su impacto físico, añadiendo incertidumbre al proceso de estimación de costes cuya evaluación monetaria se basa en una metodología compleja (secciones III y IV). Una condición necesaria para el éxito de la política de precios es que la estructura de costes privados, tal como se percibe por los agentes económicos que ocasionan la pérdida de bienestar, incluya efectivamente el precio óptimo corrector del fallo de mercado (desplazamiento de C a C' en el gráfico 1). En su defecto, se ha de pensar en el diseño y puesta en funcionamiento de medidas que, ya sea modificando el comportamiento de los automovilistas a través de incentivos económicos, ya sea a través de estándares y reglamentaciones, induzca una internalización parcial de los efectos externos en cuestión.

3. Los accidentes de carretera

En teoría, los costes de los accidentes de carretera deben incorporarse en el *precio* de usar la carretera por dos razones. La primera, *ex-ante*, es la prevención de accidentes a través de la obtención de un nivel apropiado de seguridad. La dificultad en este área consiste en diseñar el tipo de cargas monetarias a imponer por una actividad que puede provocar lesión o muerte, o un aumento en el riesgo de lesión o muerte. La segunda razón, *ex-post*, es la recuperación de los costes asociados con los accidentes de carretera una vez que tienen lugar. Para ello se necesita una metodología de evaluación de tales costes así como el diseño de mecanismos apropiados de compensación financiera. Se debe utilizar el mecanismo de los precios sólo si a través del mismo se pueden reorientar las acciones de los usuarios de la carretera en la dirección de una asignación de recursos más eficiente².

¹ Morrison (1986) contiene un panorama reciente sobre la teoría de fijación de precios a los usuarios de la carretera.

² Vickrey (1968) hace una distinción análoga entre decisiones relacionadas con el uso de la carretera (e. g., conducir vía ruta A o ruta B) y decisiones relacionadas con la manera en que dicha actividad se lleva a cabo. En el primer caso es posible, en principio, influir en el comportamiento de los usuarios mediante precios fijados *ex-ante*, mientras que en el segundo caso la única manera de influir en el comportamiento es a través de una evaluación *ex-post* del daño infringido a causa del accidente.

Los accidentes de carretera ocasionan costes directos y costes indirectos, además de otros costes que la literatura denomina intangibles. Entre los costes directos están el daño ocasionado a los vehículos, los costes de tratamiento médico, y los costes de policía y administrativos. Los costes indirectos son principalmente la reducción neta en el nivel de *output* debido a lesión o muerte de la(s) persona(s) accidentada(s), así como la pérdida de consumo, transferencias de renta, etcétera. Los costes intangibles son el dolor, la pena y el sufrimiento de las personas accidentadas y sus familiares, así como el riesgo de verse involucrado en un accidente.

El cálculo del coste social de los accidentes de carretera conlleva la elección de una metodología de evaluación del coste de los accidentes tal como se lleva a cabo en los proyectos de inversión de nuevas carreteras o en los estudios de medidas de seguridad (e. g., cinturón obligatorio)³. En la literatura sobre economía del transporte existe un viejo debate sobre cuál es la metodología más apropiada para la evaluación del coste de los accidentes, especialmente la valoración de una vida humana (Jones-Lee, 1976). Para nuestros propósitos es conveniente mencionar dos métodos, uno basado en la teoría del capital humano y el otro basado en el cálculo del valor del riesgo. El primero, que también se conoce como el método de pérdida de *output*, intenta medir el impacto de la lesión o muerte a causa de un accidente sobre los niveles actual y futuro del producto nacional bruto. Con este método, el coste social de un accidente de tráfico es la suma del coste real de los recursos (i. e., daño al vehículo, costes médicos y de policía) más el valor descontado del *output* futuro de la(s) víctima(s). La principal objeción a este método es que la mayoría de las personas valoran la seguridad por su aversión al riesgo de muerte o lesión *per se* antes que debido a la preocupación por preservar los niveles actuales y futuros de renta. Alternativamente, el método basado en el valor de un cambio en el riesgo define el valor de prevenir un accidente como la suma de todas las cantidades de dinero que las personas afectadas pagarían por una reducción muy pequeña del riesgo a tener un accidente (Jones-Lee, 1990).

Para determinar la naturaleza de los efectos externos derivados de los accidentes de carretera, así como su magnitud, es esencial establecer la relación entre el número de accidentes y el volumen de tráfico, medido éste por el número de vehículos-kilómetro recorridos (VK) por unidad de tiempo. Newbery (1988) distingue tres posibilidades: el número de accidentes puede ser (a) independiente, (b) proporcional, o (c) puede crecer más que proporcionalmente con los VK. Si el número de accidentes es independiente de los VK, el tipo y severidad de los accidentes dependerá en cualquier caso de la composición del tráfico (e. g., proporción de vehículos pesados). A menos que los conductores modifiquen su comportamiento en la carretera de acuerdo con la composición del tráfico, existirá un efecto externo que requiera consideración. En segundo lugar, si el número de accidentes es proporcional a los VK,

³En los proyectos de inversión de nuevas carreteras, el componente principal de los beneficios derivados de la inversión corresponde a los ahorros de tiempo (50-60 %) seguido del valor de la reducción de accidentes (20-30 %).

la tasa marginal de accidentes es igual a la tasa media lo que implica que los usuarios de la carretera son capaces de ajustar su comportamiento para alcanzar un nivel de riesgo constante por kilómetro recorrido. En este caso, si el seguro del automóvil cubre todos los costes derivados de un accidente, no existe ningún efecto externo. Pero si la prima que las compañías aseguradoras cobran a los conductores no refleja el coste total de los accidentes (e. g., daños a peatones) existirá un efecto externo. Por último, si el número de accidentes aumenta más que proporcionalmente con los VK, un VK adicional aumentará la probabilidad que algún otro usuario de la carretera se vea involucrado en un accidente. En realidad, existen dos efectos externos en relación al riesgo que ocasiona el VK marginal: (a) el riesgo que el conductor del VK marginal muera o se lesione seriamente, y (b) el riesgo que el conductor cause la muerte de, o lesione seriamente a, otra persona a causa de un accidente⁴.

Se han realizado muy pocos estudios con la intención de estimar empíricamente la relación entre el número de accidentes y el volumen de tráfico⁵. En un estudio reciente sobre asignación de costes llevado a cabo por la Administración Federal de los EE. UU. (USFHA, 1982) se concluye que no se puede identificar una relación concreta entre ambas variables y, por tanto, se ignora el efecto externo que representa el riesgo de accidente. El Departamento de Transporte del Reino Unido, al evaluar nuevas inversiones en carreteras, supone que el número de accidentes es fundamentalmente proporcional al número de vehículos-kilómetro recorridos por lo que se asume que la tasa de accidentes marginal es igual a la tasa media. En teoría, las dificultades en relacionar el número de accidentes, y por tanto su coste (ignorando por el momento la severidad de dichos accidentes), con el número de vehículos-kilómetro recorridos, supone una seria restricción en el ejercicio teórico de diseñar un impuesto óptimo que cubra la diferencia entre el coste privado y el coste social de los accidentes de carretera. Por otra parte, se argumenta con frecuencia que una proporción sustancial del coste de los accidentes se financia por los automovilistas a través de las primas del seguro del automóvil de tal modo que cualquier carga adicional supone un pago doble. Asimismo, debido quizá a la naturaleza aleatoria de los accidentes de carretera, hay quienes contemplan el seguro del automóvil como el mecanismo más efectivo para combinar incentivos para la seguridad en la carretera con esquemas apropiados de recuperación de costes.

⁴ En Jones-Lee (1990) se describe un método burdo para el cálculo de los dos efectos externos asociados al riesgo de utilizar la carretera. Este método se basa en estadísticas sobre el número y severidad de los accidentes así como en estimaciones, realizadas por el autor, sobre el valor de una vida humana.

⁵ En la literatura sobre economía del transporte hay estudios que utilizan el análisis de regresión múltiple con series temporales para estimar el grado de responsabilidad de factores tales como la velocidad o el consumo de alcohol en el número de accidentes (e. g., Crandall *et al.*, 1986, capítulo 2). Estos estudios, sin embargo, no han sido capaces de encontrar una relación estadísticamente robusta entre el número de accidentes y el consumo de servicios de transporte por carretera medido por los vehículos-kilómetro recorridos.

3.1. *El papel del seguro del automóvil*

Los principios económicos necesarios para entender el nivel óptimo de seguridad en la carretera y el seguro del automóvil se basan en el hecho, ya mencionado, que cuando un automovilista hace uso de la carretera impone efectos externos sobre el resto de la sociedad debido al aumento en la probabilidad de lesión o muerte. La naturaleza de estas externalidades es esencialmente la misma que la de la externalidad causada por el fenómeno de la congestión de tráfico: el usuario sólo tiene en cuenta su propio riesgo (tal como él lo percibe) y no el riesgo que genera a los otros usuarios y no usuarios. Si los conductores fuesen neutrales al riesgo no tendrían ningún incentivo para asegurarse contra los accidentes de carretera. Si, por el contrario, los conductores tienen aversión al riesgo, preferirán asegurarse contra las pérdidas potenciales causadas por un accidente. En este caso, la información asimétrica propia de todo mercado de seguros juega un papel importante porque las compañías de seguros no conocen, ni tampoco pueden observar directamente, el cuidado que tienen los automovilistas (Boyer, G.; Dionne, 1987). Una vez firmado el contrato de seguro, disminuye el incentivo del automovilista para tomar las precauciones necesarias lo que a su vez repercute en el coste esperado de la compañía aseguradora.

El gobierno puede intervenir para intentar corregir los fallos que se originan en el mercado de seguros del automóvil y obtener algunas mejoras en los niveles de precaución y compensación asociados a los accidentes de carretera (Gravelle, 1987). Se pueden medir y controlar los niveles de precaución mediante la especificación de estándares de seguridad (e. g., uso obligatorio de cinturones de seguridad, límites de velocidad); o se pueden alterar los costes de los accidentes que se derivan de los sistemas legales de compensación (e. g., sistemas basados en culpabilidad o no culpabilidad); o se puede alterar el precio de ser precavido a través del sistema de impuestos (e. g., un aumento en el precio de la gasolina puede llevar a una reducción en la velocidad media en las carreteras); o se puede regular el mercado de seguros (e. g., obligatoriedad de asegurarse contra daños a terceros). A pesar de este conjunto potencial de intervenciones encaminadas a paliar los fallos de mercado que se derivan del consumo de vehículos-kilómetro, es necesario examinar con más detalle las primas y condiciones del seguro del automóvil como mecanismo capaz de internalizar los efectos externos antes mencionados.

La dificultad esencial de las primas del seguro del automóvil como mecanismo válido para internalizar los efectos externos derivados del riesgo de accidentes es que forman parte del coste fijo de operar un automóvil y, por tanto, no influyen en la intensidad de uso del mismo. Las primas pueden variar de acuerdo con los diferentes tipos de riesgo pero no tienen en cuenta la exposición al riesgo adicional que conlleva un aumento en el número de vehículos-kilómetro recorridos. Las compañías de seguro privadas fijan las primas de seguro intentando discriminar de un modo efectivo entre los diferentes riesgos. Para ello utilizan un conjunto de señales que incluyen características del automovilista (e. g., edad, sexo, profesión, años con licencia),

características del automóvil (e. g., potencia del motor, modelo y año), y características del medio y el motivo por el que se utiliza el automóvil (e. g., fuera o dentro de la ciudad, viajes de negocio o placer, de ida y vuelta al trabajo). Esta práctica se denomina fijación de precios *'a priori'*. Su objetivo, desde el punto de vista de las compañías de seguros, es la evaluación del riesgo asociado a los diferentes tipos de automovilistas. Los criterios de selección no están universalmente aceptados como lo demuestra las diferentes políticas practicadas en relación a los conductores jóvenes con nuevas licencias (OCDE, 1990).

Una discriminación de primas del seguro que se ajuste mucho a los distintos tipos de riesgo puede minimizar el coste esperado de las compañías aseguradoras pero también puede desplazar del mercado a determinados grupos de alto riesgo cuyas primas pueden resultar demasiado altas. Esta limitación se intenta paliar adoptando un sistema de precios *'a posteriori'*, también conocido como *bonus/malus*, mediante el cual la historia pasada del automovilista influye en la determinación de la prima a pagar. La principal objeción a este sistema es que la prima extra que se carga al automovilista que ha tenido un accidente no compensa las reducciones otorgadas a los automovilistas sin accidentes. El resultado es la subida en el componente «a priori» del precio final. La otra crítica del sistema *bonus/malus*, es que con frecuencia induce a no declarar los accidentes. En definitiva, se puede afirmar que las características de las políticas de precios de las compañías de seguros pone de manifiesto que el papel principal del seguro del automóvil no es la prevención de accidentes sino el de mecanismo financiero de compensación de aquellos costes cubiertos por el contrato de seguro.

4. La contaminación del aire

Los automovilistas influyen en el medio ambiente a través de la producción, el mantenimiento, y la intensidad de uso de la infraestructura vial y el equipo móvil. Los problemas de la contaminación atmosférica son debidos a los contaminantes del aire emitidos en la producción de vehículos-kilómetro y a los riesgos que conllevan sobre la salud y la ecología. El ruido representa un problema serio, especialmente en zonas urbanas con altas densidades de tráfico y población, mientras que la infraestructura vial ocupa tierras que podrían ponerse a otros usos. Por razones de espacio, sólo trataremos en esta sección el efecto más importante que es la contaminación del aire⁶.

Un vehículo de gasolina emite cantidades significativas de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas, especialmente si quema gasolina con plomo. Un vehículo diesel emite

⁶ECNT (1990) contiene un tratamiento exhaustivo de la relación entre transporte y medio ambiente con datos y estimaciones recientes. Los instrumentos económicos para el control de la contaminación del aire producida por fuentes móviles y estacionarias se analizan en OCDE (1989).

cantidades mucho más pequeñas de HC y CO aunque tiende a emitir cantidades importantes de partículas y de bióxido de sulfuro (SO_2). La cantidad emitida de estos contaminantes depende de factores tales como el tamaño y diseño del motor, la intensidad de uso del motor (distancia recorrida), su estado de mantenimiento, el tipo y calidad del carburante consumido, así como el peso y la velocidad del vehículo (White, 1982). Asimismo, las emisiones de contaminantes primarios también son la causa de contaminantes secundarios que se forman mediante reacciones químicas en la atmósfera siendo ozono (O_3) el más importante. La formación de ozono, a su vez, con un proceso complejo que depende de factores tales como la temperatura, la luz solar, el viento, y el ratio entre gases orgánicos reactivos y NO_x .

La literatura económica ofrece varios métodos para la estimación de los costes sociales que se derivan de la contaminación del aire por parte de los vehículos motorizados y para su evaluación monetaria. Un informe preparado por Pearce y Markandya (1989) para la OCDE pasa revista a las técnicas de evaluación monetaria y metodologías existentes. Estas técnicas incluyen métodos de evaluación *directos*, tales como los precios hedónicos que utilizan valores de las propiedades inmobiliarias, o tasas salariales, para inferir el valor que los consumidores asignan a diferentes niveles de contaminación del aire; y métodos *indirectos* que intentan estimar los efectos de la contaminación ambiental en la salud, o en la corrosión de materiales, o en la vegetación, a través de la estimación de una función de daños.

La función de daños relaciona el daño físico con el nivel de contaminación. Se basa en una relación dosis-respuesta entre la contaminación del aire y algún efecto, por ejemplo, el número de muertes debido al óxido de sulfuro (SO_x), y en análisis de regresión y estudios epidemiológicos. La función de daños monetaria, en cambio, corresponde a la función de daños física multiplicada por el valor de una unidad de daño físico (e. g., el valor de una vida humana en el caso de daño a la salud). La estimación de una función de daños debido a contaminación del aire ocasionada por los vehículos motorizados es un ejercicio complejo que depende de un amplio número de factores difíciles de medir o controlar⁷. La construcción de una función de daños conlleva varias etapas con un grado diferente de dificultad en su estimación:

1. actividad económica de la unidad contaminante (vehículo-km.)
2. emisiones de contaminantes (NO_x , HC , CO , SO_x ; gramos/km.)
3. concentración de contaminantes en el aire (gramos por m.³)

⁷ Incluso manteniendo constante el número de automóviles y factores tales como la tecnología de combustión, se puede demostrar que el consumo de gasolina, y por tanto los niveles de emisión de contaminantes, dependen de la velocidad media, aunque la relación entre las tres variables (consumo de gasolina, emisión de contaminantes y velocidad media) no es proporcional. En Suiza se ha estimado que para un parque de automóviles dado, después de alcanzarse los 80 kilómetros-hora el consumo de gasolina aumenta, las emisiones de HC y CO todavía pueden disminuir, mientras que las emisiones de NO_x aumentan más deprisa que el consumo de gasolina (Lamure, 1990).

4. exposición a los contaminantes (gramos/m.³ por unidad de tiempo)
5. daño físico (efectos de los contaminantes sobre la salud)
6. valor monetario del daño físico (pesetas por unidad de daño).

La estimación de una función de costes sociales debido a la contaminación del aire producida por los vehículos motorizados representa el primer paso para el cálculo del coste marginal de un vehículo-kilómetro adicional. Siguiendo la metodología de la función de daños es necesario, en primer lugar, estimar una función de daños física de la forma $D = D(C, X)$, donde D representa el daño físico, C representa la concentración de contaminantes, y X es un conjunto de variables tales como la densidad de población, las características del parque de vehículos, la congestión del tráfico, etcétera. En segundo lugar, se necesita estimar el cambio en D debido al cambio en una unidad de C , es decir, el coeficiente de C en un análisis de regresión múltiple. En tercer lugar, se calcula el cambio en C debido a un vehículo-kilómetro adicional. Por último, se multiplica el cambio en C debido al vehículo-kilómetro marginal por el coeficiente de C sobre D y por el valor monetario de una unidad física de daño.

Las dificultades del proceso de estimación descrito son obvias no sólo por la cantidad de variables que hay que controlar sino también por la incertidumbre en cuanto al valor que adoptan tales variables en escenarios diferentes⁸. Es por ello que la fijación de un impuesto óptimo a los usuarios de la carretera que sea igual al coste marginal externo de los contaminantes emitidos es muy difícil de llevar a la práctica. La alternativa a la política de precios óptima que intente controlar la contaminación del aire supone, en primer lugar, fijar un objetivo, normalmente relacionado con la cantidad total de contaminantes emitidos, y en segundo lugar, seleccionar un conjunto de medidas basadas en instrumentos económicos y regulaciones para alcanzar el objetivo seleccionado de la manera más eficiente, es decir, a un coste mínimo.

4.1. Políticas para controlar la contaminación del aire

La reducción de la contaminación del aire que causan los automóviles pasa necesariamente por uno, o más, de los tres objetivos siguientes: (a) reducción de la demanda total de transporte; (b) modificación del reparto modal en favor de modos de transporte menos contaminantes; (c) reducción de los factores de emisión (gramos por vehículo-kilómetro)⁹. Asimismo, la elección del conjunto de instrumentos más efectivo en la consecución de una mejora determinada en la calidad del aire, depende del factor contribuyente que se tenga por objetivo: el vehículo, el carburante, o las condiciones del tráfico y/o gestión de la demanda. El Cuadro 1 presenta una taxonomía de los instrumentos más comunes clasificados entre aquéllos que intentan influir en los incen-

⁸ Uno de los pocos ejemplos de estimación de una función de daños dentro de un marco de análisis coste-beneficio se puede encontrar en Hall (1989).

⁹ Véase el artículo de Gwilliam (1991), en este número, en torno a la política de las Comunidades Europeas sobre transporte y medio ambiente.

tivos de los agentes económicos, normalmente a través de precios o impuestos, y aquéllos otros que se basan en controles y ordenamientos para la regulación de la actividad económica que origina la contaminación. Los instrumentos aparecen subclasificados como directos o indirectos dependiendo de si intentan influir directamente, o de otro modo, en el nivel de emisiones. Por último también se pueden clasificar entre aquellos que buscan tan sólo modificar el comportamiento de los agentes económicos en su interacción con el medio ambiente, o bien aquéllos que además generan ingresos para financiar la puesta en funcionamiento de otras medidas.

Muy pocos instrumentos basados en los incentivos de mercado se han puesto en práctica para combatir la contaminación del aire causada por los automóviles a excepción de la diferenciación impositiva (OCDE, 1989). Por definición, la diferenciación impositiva pretende crear un incentivo: los automóviles más limpios obtienen una ventaja impositiva que se financia por los automóviles más contaminantes. En la mayoría de los casos esta ventaja consiste en un impuesto reducido para la gasolina sin plomo. Por otra parte, la diferenciación en los impuestos que forman parte del precio final del automóvil depende de las características técnicas del vehículo (e. g., si están equipados con convertidor catalítico), de su tamaño o del año de compra. Una de las desventajas de los impuestos del vehículo es que están pensados para influir la tenencia y no el uso del automóvil. Sin embargo, la diferenciación impositiva de las gasolinas puede utilizarse para promover el consumo de las gasolinas más limpias. El impuesto de la gasolina, por sí solo, puede ayudar a reducir las emisiones de contaminantes siempre que éstas y el consumo de la gasolina tengan una relación fija, aunque no proporciona incentivo alguno para reducir las emisiones por unidad de carburante consumido.

Una estructura impositiva no uniforme (e. g., una licencia anual para el vehículo y un impuesto para la gasolina) representa otra fuente de diferenciación impositiva. Mediante un aumento en el impuesto indirecto de la gasolina y una disminución en el precio de la licencia anual se puede crear un incentivo para reducir el uso del automóvil ya que el coste total disminuye para distancias recorridas por debajo de cierto nivel y aumenta para distancias superiores.

Si un servicio que contamina no está sujeto a impuestos, a un bien o servicio relacionado con aquél se le puede fijar un impuesto si es un bien complementario, u ofrecer una subvención si es un bien sustitutivo del bien que contamina (Wijkander, 1985). Este resultado intuitivo favorece la subvención del transporte público y la fijación de impuestos a los aparcamientos en las zonas centrales de la ciudad.

Un impuesto de congestión puede ser un componente muy importante de un sistema de precios por el uso de la carretera ya que puede servir el objetivo doble de controlar la congestión de tráfico y la contaminación del aire. En la mayoría de los países industrializados, la contaminación del aire debido a los automóviles tiene lugar en zonas urbanas donde inevitablemente hay congestión. En estas condiciones, el consumo de gasolina tiene una alta correlación

CUADRO 1
Una taxonomía de instrumentos para el control de la contaminación del aire

INCENTIVOS DE MERCADO		CONTROLES Y REGLAMENTACIONES	
Directos	Indirectos	Directos	Indirectos
— Tasas de emisión.	— Licencias. — Diferenciación impositiva. — Ayudas impositivas para nuevo equipo.	— Estándares de emisiones.	— Inspección y mantenimiento obligatorio. — Uso obligatorio de vehículos poco contaminantes. — Desguace obligatorio de vehículos viejos muy contaminantes.
VEHICULO			
—	— Diferenciación impositiva. — Impuestos a las gasolinas.	— Composición del carburante. — Desfase de gasolinas muy contaminantes.	— Estándares de eficiencia en el consumo de gasolina.
CARBURANTE			
—	— Impuestos de congestión. — Parquímetros. — Subvenciones a los modos de transporte menos contaminantes.	— Limitaciones físicas al tráfico. — Rutas obligatorias.	— Límites de velocidad. — Restricciones en el uso del automóvil. — Prioridades al transporte público (e. g., carril-bus).
TRAFICO			

Fuente: Carbajo (1990).

con los tiempos de viaje y las emisiones de contaminantes. En principio, una parte sustancial de la contaminación atmosférica podría eliminarse si algún tipo de impuesto de congestión (precio óptimo) estuviese en vigor. El volumen de tráfico disminuiría, especialmente durante las horas punta, y las velocidades medias aumentarían, repercutiendo en una mejora en las tasas medias de emisión de contaminantes.

En el área de la regulación directa, los estándares de emisión equivalen, bajo ciertas condiciones, a un impuesto de contaminación. La entrada en vigor de los estándares se suele hacer de un modo gradual empezando con los nuevos modelos de automóviles. Esto hace que aumente el precio relativo de los vehículos nuevos favoreciendo su sustitución por automóviles de más edad y disminuyendo la tasa de renovación del parque móvil¹⁰. Esto significa una utilización más intensiva de los automóviles lo que tiene consecuencias negativas en cuanto a las tasas medias de emisión de contaminantes.

Finalmente, los estándares de emisiones no proporcionan incentivos para que el automovilista mantenga de un modo apropiado el sistema de control de emisiones del automóvil excepto cuando existe un programa obligatorio de inspección y mantenimiento de vehículos. Estos programas trasladan los costes de la regulación a los automovilistas aunque otros factores técnicos e institucionales ayudan a determinar el grado de cumplimiento y eficiencia en el control de las emisiones.

5. Conclusiones

La estimación del coste social de los accidentes de carretera y la contaminación del aire causada por los automóviles es un ejercicio lleno de dificultades. A causa de la naturaleza aleatoria de los accidentes es difícil establecer la relación entre el número de accidentes y el consumo de servicios de transporte medido por los vehículos-kilómetro recorridos. Por su parte, la estimación de las emisiones de contaminantes del aire producidos por los automóviles depende de un gran número de factores relacionados con los vehículos, las gasolinas y las condiciones del tráfico. Ambos costes sociales adolecen de una metodología de evaluación monetaria que haya sido universalmente aceptada.

La prescripción de fijar cargas monetarias a los usuarios de la carretera para internalizar los efectos externos asociados a los accidentes y a la contaminación del aire sigue siendo teóricamente válida pero es difícil de llevar a la prác-

¹⁰ El análisis económico de este resultado es el siguiente (Gruenspecht, 1982): autos nuevos y autos viejos son bienes sustitutivos. Cualquier aumento en el precio o coste operativo de los autos nuevos, incluyendo aquellos debidos a la regulación, favorece la sustitución hacia los autos usados. Si todos los mercados de automóviles están en una situación inicial de equilibrio, el aumento en el precio de los autos nuevos resultará en un exceso de demanda de autos usados. Como la oferta de autos usados en un momento dado en el tiempo es perfectamente inelástica, los precios han de subir para eliminar el exceso de demanda lo que resulta en una tasa de deshecho de vehículos menor.

tica por los problemas de estimación y evaluación descritos. Para los accidentes de carretera, la alternativa que requiere más atención es el desarrollo de un sistema eficaz de seguro del automóvil con la finalidad doble de generar las señales adecuadas, según el tipo de riesgo, a través de la prima del seguro pero también para servir como un mecanismo de compensación ágil y eficiente.

Para la contaminación del aire existe un conjunto de instrumentos basados en los incentivos del mercado y en controles y reglamentaciones técnicas que pueden contribuir a la obtención de una reducción de la cantidad total de contaminantes del aire emitidos. El reto en este área consiste en el diseño de un conjunto mínimo de intervenciones que a través de una combinación, no necesariamente exhaustiva, de una reducción en la demanda de transporte, un cambio modal, y una reducción en los factores de emisión, se logre alcanzar un objetivo predeterminado de calidad del aire al coste económico más bajo posible.

Referencias

- Boyer, M. & G. Dionne (1987): «The Economics of Road Safety», *Transportation Research B*, vol. 21, 413-31.
- Carbajo, J. C. (1990): «Accident and Environmental Externalities in a System of Road User Charges», *World Bank PRE Discussion Paper* (Draft), Washington D. C.
- Crandall, R. *et al.* (1986): *Regulating the Automobile*, The Brookings Institution, Washington, D. C.
- ECMT (European Conference of Ministers of Transport) (1990): *Transport Policy and The Environment*, OCDE Publications Service, París.
- Gravelle, H. (1987): «Accidents, taxes, liability rules and insurance», *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, vol. 12, 115-131.
- Gruenspecht, H. (1982): «Differential Regulation: The Case of Auto Emissions Standards», *American Economic Review*, vol. 72, 328-331.
- Gwilliam, K. (1991): «Transport, Environment and The European Community», *Investigaciones Económicas* (en este número).
- Hall, J. (1989): «Economic Assessment of the Health Benefits from Improvement in Air Quality in the South Coast Air Basin», *California State University Fullerton Foundation*, California.
- Jones-Lee, M. (1976): *The Value of Life: An Economic Analysis*, Martin Robertson, London.
- Jones-Lee, M. (1990): «The Value of Transport Safety», *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 6, no. 2, 39-60.
- Lamure, C. (1990): «Environmental considerations in Transport Investment», en *Transport Policy and The Environment*, ECMT.
- Morrison, S. (1986): «A Survey of Road Pricing», *Transportation Research A*, vol. 20, 87-97.
- Newbery, D. (1988a): «Road damage externalities and road user charges», *Econometrica*, vol. 56, 295-316.
- Newbery, D. (1988b): «Road User Charges in Britain», *The Economic Journal*, vol. 98, 161-176.
- OCDE (1989): *Economic Instruments for Environmental Protection*, París.
- OCDE (1990a): «The Social Cost of Land Transport», *Environment Monograph*, no. 32, París.
- OCDE (1990b): *Automobile Insurance and Road Accident Prevention*, París.

- Pearce, D. & A. Markandya (1989): *Environmental Policy Benefits: Monetary Evaluation*, París, OCDE.
- Pigou, A. (1920): *The Economics of Welfare*, First edition, McMillan.
- Small, K. A. et al. (1989): *Road Work- A New Highway Pricing and Investment Policy*, The Brookings Institution, Washington D. C.
- US Federal Highway Administration (1982): *Final Report to the Federal Highway Cost Allocation Study*, US Government Printing Office, Washington D. C.
- Vickrey, W. (1968): «Automobile Accidents, Tort Law, Externalities, and Insurance: An Economist's Critique», *Journal of Law and Contemporary Problems*, Vol. 33, 464-487.
- Walters, A. A. (1961): «The theory and measurement of private and social cost of highway congestion», *Econometrica*, vol. 29, 676-99.
- White, L. (1982): *The Regulation of Air Pollutant Emissions From Motor Vehicles*, American Enterprise Institute, Washington D. C.
- Wijkander, H. (1985): «Correcting Externalities Through Taxes on/Subsidies to Related Goods», *Journal of Public Economics*, vol. 28, 111-125.

Abstract

Road users impose four types of social costs: pavement costs, congestion costs, accident costs, and the costs derived from environmental damage. This paper reviews the methodology to estimate the social costs from road accidents and automotive air pollution, and examines the economic instruments available for its partial internalization. In the case of road accidents, an efficient system of motor insurance must be developed, whereas for the control of air pollution it is necessary to devise a set of incentives and regulations which minimize the economic cost of achieving a predetermined level of air quality.

Recepción del original, marzo de 1991

Versión final, mayo de 1991