

La factura medioambiental del transporte por carretera

The environmental cost of road transport

Revista de Obras Públicas
nº 3.521. Año 158
Mayo 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Benjamín Cendrero Agenjo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado. Licenciado en Economía. Jefe de Departamento de estudios y proyectos de inversión. Ayuntamiento de Madrid. Madrid (España). cendreroab@madrid.es

Resumen: El funcionamiento de la vida cotidiana en nuestra sociedad sería imposible si no existiera el transporte. Sin embargo, no todo son aspectos positivos ya que el desarrollo del mismo conlleva numerosas diseconomías: accidentes, ruido, contaminación atmosférica ó cambio climático entre otras, que cuando no son pagadas por quien las genera se denominan externalidades. El camino hacia el transporte más eficiente desde el punto de vista medioambiental, es aquel en el que se internalice estas externalidades para cada modo de transporte, y que coincide con aquel en el que se alcance el óptimo en el reparto modal del transporte. Pero para poder internalizar esa Factura medioambiental que suponen las externalidades, lo primero que hay que hacer es calcularlas.

Palabras Clave: Transporte; Externalidad; Medioambiente; Metodología; Coste

Abstract: Day-to-day life in our society would be impossible without transport. However, not all aspects of transport are positive as their development implies numerous diseconomies, such as accidents, noise, atmospheric pollution or climatic change among others which when not paid by those generating the same are then deemed as externalities. The path towards more efficient transport from an environmental point of view is one which internalises these externalities for each mode of transport, and which coincides with one obtaining the optimum modal distribution of the transport. However, in order to internalise the environmental cost implied by these externalities, it is first necessary to calculate the same.

Keywords: Transport; Externalities; Environment; Methodology; Cost

1. Introducción

El transporte se define como el traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro. Tras esta sencilla definición existen otras consideraciones como que el transporte contribuye de manera notable al desarrollo económico y social. Sin embargo, el enorme crecimiento del transporte durante las últimas décadas ha venido acompañado de una Factura medioambiental y social considerable: daños a la salud de las personas y al medio ambiente, riesgo de accidentes, creciente congestión de las vías, etc.

Durante las dos últimas décadas se han llevado a cabo numerosos informes que han estudiado esta materia, entre los cuales podemos citar: Button (1), Maibach (2), Mayeres et al (3), Libro Blanco del Transporte 1998 (4), Libro Blanco del Transporte 2001 (5), CAPRI (6) UNITE (7) o INFRAS/IWW (8) entre otros. La extensa literatura sobre la materia no hace sino poner de manifiesto la importancia cualitativa de la misma, tanto desde el punto de vista técnico como social.

El reto actual para nuestra sociedad, es la cuantificación de la Factura medioambiental, ya que sólo se puede gestionar lo que se puede medir

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de julio de 2011.

Recibido: enero/2011. Aprobado: marzo/2011

como menciona la Agencia Europea de Medioambiente (9). Mientras que no conozcamos cual es el valor monetario de esa Factura, será imposible que tomemos las decisiones más eficientes en cuanto a la reducción de la misma ó en cuanto a quién debe pagar la misma. El objeto de este artículo es el cálculo de dicha Factura para España con los últimos datos disponibles (2008) con una metodología concreta, la cual podrá ser mejorada, depurada ó criticada completamente, pero innegablemente supone un punto de partida para conseguir conocer cuantitativamente la materia en cuestión.

2. La factura medioambiental del transporte por carretera

Desde una perspectiva económica, los costes se pueden clasificar atendiendo a distintos criterios, para conocer cuanto vale la contaminación el criterio a seguir sería clasificar los costes en internos y externos. Hablamos de costes internos si los efectos de estos costes recaen sobre los usuarios del sistema de transporte. Por el contrario, los costes externos ó externalidades serían aquellos que no recaen sobre los usuarios del sistema de transporte, sino sobre terceros. La Factura medioambiental objeto de este artículo sería la suma de todas las externalidades.

La medida de las externalidades no es sencilla, pues requiere de metodologías específicas y técnicas de medición basadas en la valoración económica de los daños generados. Esta valoración se hará a través de la medición de la utilidad de dicho bien. Pero estas utilidades son bienes de difícil valoración –por ejemplo, el aire limpio, o la ausencia de ruido- porque no tienen precio de mercado. Además, el ámbito del impacto es muy variado; el ruido, por ejemplo, sólo afecta a un reducido entorno geográfico, mientras que las emisiones de CO₂ afectan al conjunto del planeta.

La cuantificación de cada una de las externalidades, se realiza empleando métodos indirectos o métodos directos dependiendo del tipo de externalidad y de la información o presupuesto disponible. Los primeros tratan de establecer una relación causa-efecto, por ejemplo valorar el ruido por el coste de evitarlo: pantallas de protección acústica. Los métodos directos se basan en las elecciones

de los usuarios. Los precios hedónicos arrojan diferencias de precio para un mismo bien según las condiciones ambientales: dos casas del mismo tipo pueden tener un precio diferente según su proximidad a una vía ruidosa. Otras veces hay que recurrir a la valoración contingente, o disposición a pagar/aceptar un pago compensatorio para mejorar las condiciones ambientales de un bien. En esta valoración también se emplean frecuentemente encuestas de preferencias declaradas.

Una vez cuantificadas todas las externalidades, el estudio de las mismas se puede llevar a cabo desde dos enfoques: costes medios (Top-Down o Arriba-Abajo) y costes marginales (Down-Top o Abajo-Arriba). Los costes medios son los costes totales en un periodo divididos por la cantidad producida/consumida durante ese periodo, serían los costes/Unidad Kilómetro (viajero + tonelada). Los costes marginales son los cambios en el coste total cuando la cantidad producida cambia por una unidad, es decir, el incremento del coste total que supone la producción adicional de una unidad de un determinado bien.

Según la teoría económica, el óptimo económico se produce cuando los precios corresponden a los costes marginales. Se han realizado numerosos estudios para determinar los costes marginales. La dificultad de este enfoque estriba en los problemas de extrapolación de los valores así determinados, pues los costes marginales corresponden a cada situación concreta. Por otra parte, no resulta operativo establecer unos precios variables –con el nivel de congestión, según la zona, etc.– pues dificultaría la transparencia del mercado.

Para el cálculo de los costes medios se calculan los costes totales para un ámbito geográfico concreto de cada una de las externalidades (congestión, accidentes, etc.) y luego se divide por las unidades de transporte. Los costes así determinados no reflejan el óptico económico teórico, pero tienen una menor variabilidad y pueden asignarse a ámbitos geográficos más amplios. La clasificación completa de los costes quedaría reflejada en la Tabla 1.

Para el cálculo de las externalidades en España y análogamente al estudio “Desarrollo de una metodología para regionalizar los costes sociales externos del transporte por carretera en España” de Cendrero, B. y Monzón, A. (10), se utilizará como base el estudio IN-

Tabla 1. Clasificación y distribución de los costes del transporte por carretera (*)

		COSTES FIJOS	COSTES VARIABLES
COSTES PRIVADOS	COSTES INTERNOS (usuarios)	Adquisición	Combustible
		Permisos de Circulación, Impuestos	Peajes
		Seguros (parte fija)	Seguros (parte variable)
		Mantenimiento vehículo (parte fija)	Manten. vehículo (parte variable)
COSTES SOCIALES ó COSTES PÚBLICOS	Costes soportados directamente por la Administración	Construcción de la infraestructura: -Diseño y planificación del tráfico -Construcción (propriadmente dicha)	Mantenim. de la infraestructura: -Obras de conserv. y renovación -Iluminación -Mejora de la seguridad vial
	COSTES SOCIALES EXTERNOS ó EXTERNALIDADES	Biodiversidad y paisaje	Accidentes
		Efectos en áreas urbanas: ocupación de espacios urbanos	Ruido
		Indirectos: producción de energía, fabricación de vehículos	Contaminación atmosférica
			Cambio climático
			Congestión (**)

(*) Todd Alexander Litman; Victoria Transport Policy Institute (12). Elaboración propia.

(**) Algunos estudios, como UNITE ó INFRAS/IWW 2004, calculan el coste de congestión aunque lo consideran como un coste interno.

FRAS/IWW 2004 (11)¹, por considerarse el más completo en el momento actual, pero adaptándolo a las características y bases de datos nacionales. El informe INFRAS/IWW 2004, considera las siguientes externalidades: accidentes, ruido, cambio climático, contaminación atmosférica, biodiversidad y paisaje, efectos en áreas urbanas, efectos indirectos y congestión vial². Este trabajo sólo calculará los cuatro primeros. Se han seleccionado éstos para realizar el cálculo ya que en el estudio INFRAS/IWW 2004 estos cuatro estudios representaban el 86,82%(2) del coste total.

En primer lugar se establecerá una metodología de cálculo de las externalidades, y des-

pués se mostrarán los resultados de aplicar la misma al caso de España con los últimos datos disponibles, que son los de 2008. Los datos se ofrecen regionalizados por Comunidades Autónomas.

2.1. Metodología de cálculo

a) Costes de accidentes

El coste social externo por accidentes de tráfico se construye a partir de la suma de los componentes que se ven en la tabla 2.

(1) El estudio INFRAS/IWW (2004) fue realizado por un equipo formado por la consultora suiza INFRAS y el Instituto IWW de la Universidad de Karlsruhe (Schreyer et al, 2004). Este grupo calculó, en un estudio encargado por la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles), los costes medios de los distintos modos de transporte para todos los países de la Unión Europea en el año 2000, o sea, para la Unión Europea de los 15 miembros que la formaban en el momento de su redacción, además de Suiza y Noruega. El estudio

alcanzaba un valor de costes sociales externos de 544.414 millones de euros para el transporte por carretera, lo que representaba un 4,8% del PIB de los 17 países que comprendían el ámbito de estudio. Esta cifra ponía de manifiesto la importancia cuantitativa de esta materia.

(2) INFRAS/IWW 2004 estudiaba el coste de congestión pero no lo considera un coste social externo, y por tanto, este 86,82% es con respecto a los otros 7 costes sociales externos.

Tabla 2. Componentes del coste social externo por accidentes de tráfico

Efecto	Víctimas Mortales	Heridos
Valor del riesgo	Pérdidas de utilidad y sufrimiento de las víctimas	Dolor y sufrimiento de las víctimas, amigos y familiares.
Pérdidas del Capital Humano	Pérdidas netas de producción por acortamiento de la vida laboral. Costes de sustitución de la víctima.	
Costes médicos	Costes externos médicos hasta que la víctima fallece.	Costes externos por cuidados médicos hasta que la víctima se recupera completamente de sus heridas.
Costes administrativos	Policía, Administración de Justicia y Seguros.	

No cabe duda de que, al realizar valoraciones de este tipo, entran en juego aspectos éticos y emocionales, pero tal y como menciona el European Transport Safety Council (13), "si no se analizaran también desde el punto de vista económico, las medidas destinadas a disminuir los daños personales no pondrían ser ponderadas adecuadamente en relación a otras medidas en el campo del transporte".

Por otro lado, los dos métodos más utilizados para el cálculo del Valor del riesgo, son el de la disposición al pago y el de las indemnizaciones. En este estudio se ha adoptado el método la disposición al pago, por considerar que las indemnizaciones están más cerca de disposiciones legales gubernamentales, que de una valoración económica técnica.

Valor del Riesgo

Valor del Riesgo para víctimas mortales

El Valor del Riesgo intenta estimar el valor monetario del dolor, la pena y el sufrimiento de los accidentes. Existen discusiones acerca de que al menos una parte del coste del Valor del Riesgo es interno, porque el viajero elige utilizar un modo de transporte más arriesgado que otro. Este argumento puede ser contestado porque al tratarse de probabilidades muy pequeñas es prácticamente imposible que se valore adecuadamente el riesgo, defendiéndose por tanto la naturaleza íntegra externa del mismo.

El Valor de la Vida Estadística (VSL, Value of Statistical Life) se define como el coste de oportunidad de salvar una vida humana. Aunque la valoración económica de la vida es objeto de gran controver-

sia, los economistas ortodoxos coinciden en que si bien nadie expresaría el valor de su vida en dinero, sí se puede aproximar este valor a través de la DAP, Disponibilidad A Pagar, ó DAC, Disponibilidad a Aceptar una Compensación (WTP, Willingness To Pay) que expresan las personas ante diferentes situaciones de riesgo. En otras palabras, si la DAP por reducir el riesgo en 1/10000 es 100 €, el VSL es 1 millón de €.

La DAP se puede calcular por dos métodos: a) mediante métodos de la valoración contingente, o sea, preguntando a la población directamente. Estos métodos han sido criticados pues la valoración contingente sobreestimaba los resultados debido a problemas relacionados con el marco de referencia y alcance; b) mediante métodos de preferencias reveladas, es decir, estudiando los hábitos de consumo de los usuarios; también han sido ampliamente criticados ya que muestran divergencias considerables en función del contexto, lo cual dificulta la extrapolación de resultados. A pesar de las críticas, el método más aceptado para valorar la vida estadística es la valoración contingente.

Como consecuencia de lo anterior, las valoraciones monetarias de la vida estadística han ido descendiendo a lo largo de la década pasada. Así, el proyecto ExternE (14) optaba por valorar la vida en 3,1 millones de €. Estudios más recientes a nivel europeo como el proyecto UNITE 2002 (15) ó INFRAS/IWW 2004 coinciden en un valor de la vida estadística (VSL) en Europa de 1,5 millones de €. Este estudio de externalidades por Comunidades Autónomas tomará como VSL un valor de 1,5 millones de €; a pesar del tiempo transcurrido desde la realización del informe INFRAS/IWW, este valor no será ajus-

tado ni actualizado en este estudio, ya que su valor es el resultado de una gran suma de factores los cuales varían en sentidos distintos, creciente y decreciente, dependiendo de la coyuntura económica y social, y por tanto, considerando que su vigencia puede tomarse como correcta.

Valor del Riesgo para heridos

Se toma como un % del Valor del Riesgo para víctimas mortales. Se opta por los valores de INFRAS/IWW 2004:

- Valor del Riesgo/Herido Grave: 200.000 €
- Valor del Riesgo/Herido Leve: 15.000 €

Debido a la argumentación anteriormente expuesta, estos valores tampoco se actualizan.

Pérdidas de capital humano

Las víctimas mortales suponen una pérdida de recursos (factores productivos y de consumo) para la economía. Esta reducción debe tenerse en cuenta tanto desde el punto de vista de la producción, como desde el punto de vista de la renta que las víctimas tendrían a su disposición.

La pérdida de capacidad productiva se refiere a la producción que hubiera realizado la persona fallecida. La pérdida de capacidad productiva neta resta a este valor el consumo que hubiera llevado a cabo la víctima. Esta es la metodología del estudio suizo UNITE 2002:

$$\text{Pérdidas del capital humano} = \text{Pérdida bruta de la producción} - \text{Consumo futuro}$$

Sin embargo, este artículo utilizará la renta disponible en lugar del consumo futuro. La renta disponible incluye además del consumo el ahorro; se considera que éste también es un bien de las víctimas mortales que en caso de no restarse no se obtendría el valor neto real de la pérdida de producción, puesto que hay recursos de las víctimas que no se estarían teniendo en cuenta. Por tanto, en este estudio la metodología que se va a seguir será:

$$\text{Pérdidas del capital humano} = \text{Pérdida bruta de la producción} - \text{Pérdida de renta disponible}$$

Costes médicos y costes administrativos

El proyecto UNITE 2002 analizó estos costes para los países UE17, así como en el estudio ECOPLAN2002 (16). Posteriormente INFRAS/IWW 2004 volvió a incluirlos.

Un factor determinante a la hora de seleccionar los elementos que se incluyen en una estimación de estos costes es la disponibilidad de la información oportuna. En general, las fuentes básicas empleadas en la valoración económica son:

- Información recogida por los cuerpos de policía encargados de dar parte de los accidentes con víctimas.
- Datos macroeconómicos publicados por las oficinas estadísticas correspondientes.
- Información de las compañías de seguros.
- Datos de instituciones hospitalarias.

Por otra parte, de la revisión de los trabajos más destacados en este campo puede concluirse que hay una serie de elementos considerados en todos los casos, y que son los incluidos en este artículo:

- costes hospitalarios ó de rehabilitación médica: corresponden a los costes de traslado y tratamiento hospitalario de las víctimas de accidentes de tráfico.
- costes de rehabilitación no médica: corresponden a costes asociados a personas con discapacidades permanentes ("grandes lesionados"), según la terminología de la Ley de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados, como costes de adaptación de vivienda y transporte especial.
- costes de los daños materiales: pueden dividirse en costes cubiertos por las compañías aseguradoras y costes no cubiertos por las aseguradoras (por ejemplo daños en el vehículo propio cuando el conductor es culpable del siniestro y sólo tiene contratado el seguro a terceros).
- costes administrativos: incluyen los costes de administración de las compañías aseguradoras y los costes policiales y judiciales.

b) Costes de ruido

El coste social externo de ruido procedente del sistema de transporte se construye a partir de la suma de los componentes que se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Componentes del coste social externo por ruido de transporte

Disposición A Pagar (DAP) por la reducción del nivel de ruido	Refiriéndose al conjunto de personas que están sometidas a un nivel de ruido por encima del valor recomendable para la salud.
Valoración de víctimas mortales con el método del Valor del riesgo	Número de accidentes cardíacos debido al ruido del transporte.
Costes médicos debido al ruido del transporte	Coste para la salud pública de las afecciones derivadas de la exposición a niveles intolerables del ruido.

Estos componentes del coste social del ruido de transporte fueron utilizados ya en el estudio de costes externos de INFRAS/IWW del año 2000. Esta metodología continuó utilizándose en el informe de actualización del año 2004 si bien teniendo en cuenta los datos mejorados de la OECD de habitantes afectados por el ruido del transporte. La única diferencia entre el informe del año 2000 y la actualización del año 2004 fue la inclusión de los costes médicos por enfermedades debidas a la exposición al ruido.

Un dato clave para el cálculo de este coste social es el número de habitantes expuestos al ruido de tráfico, así como la "cantidad de ruido". En ocasiones, las series históricas europeas muestran que las emisiones de ruido permanecen constantes en el tiempo, ya que por un lado los volúmenes de tráfico crecen, pero por otro las mejoras tecnológicas hacen que los niveles de emisión no varíen. A nivel español no existen series históricas que nos permitan realizar este tipo de comparaciones.

Disponibilidad a pagar por reducción del ruido.

INFRAS/IWW 2004 estima la DAP mediante la metodología de la valoración contingente, es decir, a través de encuestas a la población. Varios estudios empíricos europeos han dado como resultado funciones lineales con pendientes similares de alrededor de 0,11% de la renta per cápita (INFRAS/IWW 2000 y su actualización en 2004 mantiene este valor). Que la pendiente sea de 0,11 significa que una persona estaría dispuesta a pagar 0,11% de su renta per cápita por reducir 1 dB (A) el nivel de ruido que soporta.

$$\text{DAP/reducción de 1 dB (A)} = 0,0011 \cdot \text{PIB}_{\text{per cápita}}$$

Si se considera que el nivel de ruido aceptable se establece en los 55 dB (A), se obtiene la siguiente función de disposición a pagar:

$$\text{DAP (por reducción de ruido)} = 0,0011 \cdot \text{PIB}_{\text{per cápita}} \cdot (\text{Nivel de Ruido en dB(A)} - 55)$$

INFRAS 2004 utilizaba los datos de población expuesta a ruido de tráfico para diferentes intervalos de dB(A) (55-60, 60-65, 65-70, 70-75, >75) publicados por la OECD de 1993.

El presente artículo toma los datos del S.I.C.A., Sistema de Información sobre Contaminación Acústica dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y a quien el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) presta el apoyo técnico para su implantación y mantenimiento. El S.I.C.A. constituye la base de datos necesaria para la organización de la información relativa a la contaminación acústica y en particular, la referente a los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) y a los planes de acción.

La población expuesta al ruido se obtiene de los Mapas Estratégicos de Ruido para las distintas carreteras. En España, la Red de Carreteras está gestionada por tres Administraciones: la estatal (Red de Carreteras del Estado), la autonómica (Red de Carreteras Autonómicas) y la local (Red de Carreteras locales ó aglomeraciones), por tanto, habrá que tener en cuenta los MER realizados por las distintas administraciones y agregar los resultados.

Estos MER se han elaborado considerando ejes viarios diferenciados, y divididos en Unidades de Mapa Estratégico (UMEs), considerándose cada una como fuente de ruido independiente. De este modo, se analiza su efecto por separado y se generan los mapas.

Los datos para este estudio se han obtenido de todos los Estudios disponibles en S.I.C.A.:

- Con respecto a la Red de Carreteras del Estado:
 - Alicante
 - Andalucía Occidental
 - Andalucía Oriental
 - Aragón

Asturias
Cantabria
Catellón
Cast. La M.-Extr. A4-A-5
Castilla La M. A2-A3
Cast.-León
Barcelona-Girona
Madrid
Galicia
Jaén-Sevilla
Lleida
Murcia
Tarragona
Valencia

- Con respecto a la Red de Carreteras Autonómica y provinciales:

Alicante
Andalucía
Bizkaia
Galicia
Gran Canaria
Lanzarote
Murcia
Tenerife
Valencia

- Con respecto a la Red Local ó estudios de aglomeraciones:

Alicante
Barcelona 1 y 2
Bilbao
Cordoba
Gijón
Granada
Las Palmas
Málaga
Murcia
P. de Mallorca
Pamplona
Sevilla
S. C. Tenerife
Valencia
Valladolid
Vigo
Zaragoza

La unidad de medida es el L_{den}^3 , por considerarse este indicador como representativo de las condiciones

globales de ruido generado por el tráfico. Los rangos de L_{den} en que se dan los resultados son: 55-60, 60-65, 65-70 y >75 dBA.

Valoración de víctimas mortales por el método del Valor del Riesgo.

El segundo componente de los costes externos por ruido está formado por los riesgos para la salud. Los estudios europeos más relevantes en la materia, llegaron a la conclusión de que la exposición continuada al ruido de transporte incrementa el riesgo de sufrir un infarto cardiaco en un 20% para niveles de ruido entre 65 y 70 dB (A) y hasta un 30% para niveles superiores a 70 dB (A).

INFRAS/IWW a partir de los datos de población expuesta a distintos niveles de ruido y del número de infartos cardiacos, calcula el número de infartos a consecuencia del ruido, para posteriormente proceder a su valoración económica. En artículo se utiliza el número total de enfermedades cardiacas mortales y no sólo el de infartos por considerarlo más apropiado.

La valoración de la mortalidad debida a enfermedades cardiacas, que son causadas por ruido de transporte es valorada con el valor de la vida humana de 1,5 millones (de manera análoga al VSL aceptado para accidentes).

Costes médicos debido al ruido del transporte

Las valoraciones anteriores sobre los efectos del ruido, tanto en la Disponibilidad a Pagar para prevenir víctimas mortales ó en las propias víctimas mortales, no tienen en cuenta los costes médicos para los habitantes afectados. Existen un gran número de enfermedades causadas por la exposición a ruido por encima de 65 dB (A). Dependiendo de la duración y la intensidad del ruido, éste puede dar lugar a una gran cantidad de problemas de salud. Estos problemas son por ejemplo: Pérdida de agudeza auditiva, efectos negativos sobre el sistema nervioso como hipertensión ó arritmias, alteraciones del sistema digestivo, etc. Asimismo puede suponer la aparición ó el incremento del riesgo de sufrir diversas enfermedades cardiacas sin llegar a producirse el fallecimiento: anginas, infartos, arritmias severas, etc.

El estudio INFRAS/IWW de 2004 para el cálculo de los costes se apoya en los estudios de la Agencia Fede-

(3) L_{den} es un indicador del nivel de ruido global durante el día, la tarde y la noche, utilizado para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido.

Tabla 4. Componentes del coste social externo por cambio climático

Emisión de Gases de Efecto Invernadero.	La emisión de CO ₂ y otros gases aumentan la temperatura media del planeta, y provocan perturbaciones malignas en el clima y en la atmósfera.
---	--

ral Alemana de Medio Ambiente, que realiza el cálculo del coste médico por persona debido a la exposición al ruido de acuerdo con la siguiente fórmula, y a partir de dicha expresión, se obtendrá el coste médico total.

$$C_{Med}^{Person} = \frac{0,08\% \text{ Coste económico total de enfermedades del corazón}}{\text{Número de personas expuestas a un nivel de ruido} > 65 \text{ dB (A)}}$$

c) Costes de cambio climático

El coste social externo debido al cambio climático procedente del sistema de transporte por carretera, se construye a partir de la tabla 4.

Está aceptado que los daños causados por los Gases de Efecto Invernadero (GEI) tienen una escala global. Esto significa que el daño es independiente de cómo y donde las emisiones tienen lugar. Las altas concentraciones de GEI causan un cambio de la temperatura global con consecuencias en precipitaciones, frecuencia de huracanes y sequías, nivel del mar y en las corrientes marinas. Estos cambios en el clima pueden implicar pérdidas de terrenos en regiones pobladas, fenómenos meteorológicos extremos, pérdidas de cosechas, efectos sobre la salud, etc.

El transporte, y en particular la carretera como modo de transporte preponderante, juega un papel importante, ya que consume más del 30% de la energía final. La dependencia del sector de los combustibles fósiles, ha supuesto un incremento importante en las emisiones de GEI.

El principal GEI emitido por el transporte es el CO₂, pero también hay otros como el metano (CH₄), N₂O, HFCs, PFCs ó SF₆.

Actualmente el Inventario de Emisiones a la atmósfera de España publicado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (17), nos ofrece los resultados de las emisiones de todos los GEI citados en el párrafo anterior. Estos resultados se presentan en forma de kilotoneladas equivalentes de CO₂-eq.

Emisión de gases de efecto invernadero

Según el método de valoración económica, los estudios sobre costes del cambio climático pueden divi-

dirse en tres tipologías: estudios basados en costes de reposición, en valoración contingente y en costes evitados. La literatura muestra marcadas diferencias en cuanto a los resultados obtenidos.

En el primer grupo, costes de reposición, los costes se estiman a través del daño que el calentamiento global pueda provocar sobre la salud de las personas y los ecosistemas. La evidencia empírica revela unos costes unitarios considerablemente bajos debido a que sólo incluye daños razonablemente conocidos y excluye, por tanto, daños que aún no se conocen o no pueden ser evaluados.

En el segundo grupo, la valoración contingente obtiene mediante encuesta, la DAP/DAC de las personas por la prevención del cambio climático. Los resultados obtenidos tampoco han sido satisfactorios debido a que las personas entrevistadas carecían de información suficiente para valorar económicamente las consecuencias del cambio climático.

Por último, el método de costes evitados estima el coste de las medidas a emprender para reducir las emisiones hasta un límite concreto. Es el método más empleado en general, y el que emplea INFRAS/IWW 2004 en particular, si bien las estimaciones varían enormemente en función de los objetivos planteados.

Este estudio de externalidades por Comunidades Autónomas utilizará este método de costes evitados, y calculará los costes de emisión de GEI (tanto CO₂ como las emisiones del resto de GEI) multiplicando la cantidad de CO₂ emitida por el coste de emisión.

El coste de emisión será el precio sombra por tonelada de CO₂, el cual ha sufrido importantes modificaciones históricamente debido a la incertidumbre:

- 1998, Conferencia Europea de Ministros de Transporte (ECMT): 50 €/T CO₂
- 2000, INFRAS/IWW: 135 €/T CO₂
- 2001, Informe de Evaluación del IPCC y Tol et al: entre 1 y 34 \$/T CO₂
- 2001, Nuevo Informe del IPCC: entre 5 y 181 €/T CO₂
- 2004, INFRAS/IWW: 140 €/T CO₂

Tabla 5. Componentes del coste social externo por contaminación atmosférica

Impactos sobre la salud humana	Enfermedades respiratorias y cardiovasculares, cáncer, leucemia infantil, etc.
Imp. sobre los materiales y edificios	Corrosión y ensuciamiento de materiales.
Imp. sobre la producción agrícola	Ecotoxicidad en las cosechas y en los ecosistemas, acidificación, eutrofización.

Las variaciones en estos precios se deben a los importantes cambios en los objetivos de las políticas y estrategias de la lucha contra el cambio climático. El estudio INFRAS/IWW 2004 planteaba 2 escenarios partiendo de las recomendaciones científicas de reducir a la mitad en 2030 las emisiones de CO₂ respecto a 1990 obteniendo un valor inferior de 20 €/T CO₂ y un valor superior de 140 €/T CO₂. Este informe tomará por prudencia como valor de referencia los 140 €/T CO₂, sin ajustar esta cifra ni por el mercado de emisiones ni actualizándola a precios corrientes.

Finalmente, parece necesario reseñar que según el Informe de Coyuntura Ambiental de noviembre de 2008 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (18), donde se citan los datos publicados por SENDECO2 (Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de CO₂), el precio de la Tonelada de CO₂ en el mercado de emisiones osciló entre 22,50 €/T y 17,25 €/T. Obviamente, este precio del mercado de emisiones no coincide con el precio sombra buscado, sino que depende de las reducciones de emisiones fijadas en conferencias internacionales.

El Inventario de emisiones a la atmósfera de España de 2009 del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino publica las cifras de emisiones totales de CO₂-equivalente (kt) por Comunidad Autónoma en 2007.

Por otra parte, y conforme a lo expuesto anteriormente, se acepta el precio sombra de 140 €/T de CO₂ equivalente.

Multiplicando el precio sombra por las emisiones de GEI correspondientes a cada CCAA se obtiene el coste total de emisiones de GEI, que coincide al ser el único componente, con el coste social externo total por cambio climático.

d) Costes de la contaminación atmosférica

El coste social externo de la contaminación atmosférica dentro del sistema de transporte se construye a partir de la suma de los componentes que se describen en la tabla 5.

Según el procedimiento de asignación se distinguen básicamente dos enfoques metodológicos: asignación arriba-abajo (transferencia de valores unitarios extraídos de estudios existentes) y asignación abajo-arriba (modelos que estiman valores para situaciones concretas de transporte). Este informe, al igual que INFRAS/IWW 2004, se va a decantar por la primera opción.

Impactos sobre la salud humana

El transporte por carretera, pese a haber disminuido notablemente algunas emisiones, ha aumentado su participación en las emisiones totales y es la principal fuente de contaminación atmosférica en áreas urbanas. La contaminación del aire repercute gravemente sobre la salud de las personas, los ecosistemas y los materiales. Algunas sustancias contaminantes (CO, NO_x, SO₂, etc.) afectan al aparato circulatorio, cardiovascular ó nervioso.

El estudio INFRAS/IWW 2004 parte de las conclusiones de la “Conferencia Ministerial de la Organización Mundial de la Salud sobre Medio Ambiente y Salud” (19) donde la mortalidad y la morbilidad se estiman a partir de los niveles medios de exposición a PM₁₀, partículas de sustancias contaminantes con un diámetro inferior a 10 µm (0,01 milímetros) que pueden dar lugar a enfermedades respiratorias agudas, problemas cardiacos e incluso causar la muerte: CO, NO_x, SO₂, etc.

Por una parte, esta Conferencia aporta los incrementos por millón de habitantes para diferentes impactos (mortalidad a largo plazo, hospitalizaciones, bronquitis, etc.) ante un aumento en la concentración de partículas de 10 µg/m³ de PM₁₀. Este informe toma como adecuados estos valores y calcula el número total de casos cada Comunidad Autónoma en función de su población.

Por otra parte, también ofrecía las Disponibilidades a Pagar para cada uno de los impactos sobre la salud humana.

Impactos sobre los materiales y edificios

Los agentes contaminantes emitidos también tienen numerosos efectos sobre el medio natural y los materiales: corrosión y ensuciamiento. Los estudios publicados definen como el principal causante la cantidad total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), siendo la unidad de medida las kilotoneladas/año.

Sin ser tan abundante como los efectos sobre la salud, la valoración económica de los daños a materiales se basa en los resultados de diversos estudios llevados a cabo en Suiza según la siguiente fórmula (INFRAS/IWW 2004):

$$\text{Impacto sobre los materiales y edificios} = \frac{\alpha \cdot \text{Emisiones NO}_x \cdot \text{Superficie edificada}}{\text{Área}}$$

donde $\alpha = 0,322 \text{ €/Ton}$

Impactos sobre la producción agraria

Los agentes contaminantes emitidos también tienen numerosos efectos por ecotoxicidad en las cosechas, acidificación, eutrofización y ecotoxicidad en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los estudios publicados definen como el principal causante la cantidad total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), siendo la unidad de medida las kilotoneladas/año.

Sin ser tan abundante como los efectos sobre la salud, la valoración económica de los daños a la producción agraria se basa en los resultados de diversos estudios llevados a cabo en Suiza según la siguiente fórmula (INFRAS/IWW):

Se utiliza la siguiente fórmula (INFRAS/IWW 2000):

$$\text{Impacto sobre la producción agraria} = \frac{\beta \cdot \text{Emisiones NO}_x \cdot \text{Producción agraria}}{\text{Área}}$$

donde $\beta = 0,0037 \text{ km}^2/\text{Ton}$.

2.2. Resultados

Los resultados se ofrecen desagregados por Comunidades Autónomas para 2008, que es la última fecha disponible (Tablas 6, 7, 8 y 9).

Agregando los resultados de los cuatro costes sociales externos analizados obtenemos los Costes Sociales Externos Totales obtenemos la tabla 10.

Con estos resultados, se obtiene la Factura medioambiental del transporte por carretera en España en 2008:

1. El Coste Social Externo (CSE) del transporte por carretera en España para 2008 fue de 38.589.642.475 para los cuatro CSE analizados.
2. Si tenemos en cuenta que para el estudio INFRAS/IWW 2004 estos cuatro CSE suponían el 86,82% (accidentes 28,58%, ruido 7,42%, cambio climático 20,64% y contaminación atmosférica 30,18%) y extrapolamos, obtenemos que el CSE TOTAL del transporte por carretera en España para 2008 fue de 44.447.872.006 € (Tabla 11).

3. Conclusiones

El valor de la Factura medioambiental del transporte por carretera, 44.447,9 millones de euros en 2008, pone de manifiesto la importancia cuantitativa de las externalidades, que unido a su relevancia cualitativa por la naturaleza de las mismas (pérdida de calidad de vida de los usuarios y no usuarios del transporte), hace imprescindible afrontar la materia en la actualidad. Las conclusiones a destacar son las siguientes:

- El método de cálculo utilizado puede ser cuestionado y mejorado, y en función de las hipótesis que se consideren, los resultados pueden sufrir variaciones significativas. Por ello, es absolutamente necesario que las Administraciones aprueben una Normativa de cálculo, que permita que éste se realice siempre bajo las mismas premisas.
- La Factura medioambiental del transporte debe tenerse en cuenta en la redacción de los proyectos de infraestructuras, ya que afecta de manera nuclear a la explotación de la infraestructura. Una manera para contemplar dicha Factura, sería mediante la obligatoria inclusión de un Anexo de Externalidades en todos los proyectos.
- La eficiencia en el reparto modal, así como en el desarrollo de cualquier modo de transporte, sólo se conseguirán cuando realmente se internalicen los costes reales de cada modo. Una fiscalidad del transporte, que realmente consiga que el que contamina, paga, será el mejor camino para la eficiencia medioambiental. ♦

Tabla 6. Coste por accidentes de tráfico en 2008

	Costes del Valor del Riesgo (€)	Costes de la pérdida del (€)	Costes médicos capital humano y administrativos (€)	TOTAL (€)
Andalucía	1.666.000.000	3.361.633	49.175.542	1.718.537.175
Aragón	443.750.000	1.493.681	12.979.352	458.223.033
Asturias	192.560.000	416.811	4.946.923	197.923.734
Baleares	246.765.000	791.449	6.866.958	254.423.407
Canarias	251.850.000	658.845	6.627.788	259.136.634
Cantabria	87.475.000	218.043	2.532.966	90.226.009
Castilla-La Mancha	630.575.000	2.558.636	17.183.317	650.316.953
Castilla y León	888.070.000	947.810	24.708.839	913.726.650
Cataluña	1.556.015.000	5.031.738	38.122.762	1.599.169.500
Extremadura	265.285.000	1.043.091	6.087.876	272.415.967
Galicia	697.860.000	854.861	18.413.632	717.128.493
Madrid	848.080.000	527.789	23.931.091	872.538.880
Murcia	248.640.000	1.764.963	7.205.403	257.610.366
Navarra	94.280.000	39.418	1.448.649	95.768.067
La Rioja	81.295.000	428.636	1.908.112	83.631.748
Valencia	1.068.535.000	5.977.425	33.313.857	1.107.826.282
País Vasco	374.535.000	655.169	10.422.390	385.612.560
TOTAL	9.641.570.000	26.769.998	265.875.459	9.934.215.457

Tabla 7. Coste por ruido en 2008

	Costes de la DAP por reducción del ruido (€)	Costes de víctimas mortales (€)	Costes de gastos médicos (€)	TOTAL (€)
Andalucía	369.512.613	41.950.696	216.264.118	627.727.427
Aragón	8.621.441	638.275	37.351.776	46.611.492
Asturias	12.978.193	1.276.661	34.184.481	48.439.334
Baleares	60.212.280	3.114.477	27.554.541	90.881.297
Canarias	39.060.079	2.019.314	51.807.160	92.886.553
Cantabria	11.181.162	510.763	17.886.047	29.577.972
Castilla-La Mancha	15.816.565	921.048	52.514.823	69.252.436
Castilla y León	29.151.394	3.424.602	69.945.727	102.521.723
Cataluña	688.235.489	49.318.994	173.155.179	910.709.662
Extremadura	2.881.006	215.482	31.794.627	34.891.114
Galicia	52.972.032	8.539.478	79.666.412	141.177.922
Madrid	24.710.841	1.061.307	129.294.037	155.066.185
Murcia	34.029.705	1.127.409	37.851.488	73.008.601
Navarra	29.518.800	1.859.685	16.281.675	47.660.160
La Rioja	0	0	9.364.586	9.364.586
Valencia	307.215.813	17.843.531	124.831.761	449.891.104
País Vasco	111.182.125	8.739.177	58.892.019	178.813.321
TOTAL	1.797.279.535	142.560.899	1.168.640.456	3.108.480.890

Tabla 8. Coste por cambio climático en 2008

	Emisiones totales de CO2 equivalente (kt de CO2 equivalente)	Emisiones de CO2 equivalente debidas al transporte por carretera (kt de CO2 equivalente)	TOTAL Euros
	(1)	(2)=0,234*(1)	140*(2)*1000
Andalucía	67.343	15.758	2.206.156.680
Aragón	23.303	5.453	763.406.280
Asturias	33.146	7.756	1.085.862.960
Baleares	10.630	2.487	348.238.800
Canarias	16.212	3.794	531.105.120
Cantabria	6.923	1.620	226.797.480
Castilla-La Mancha	28.964	6.778	948.860.640
Castilla y León	44.122	10.325	1.445.436.720
Cataluña	58.059	13.586	1.902.012.840
Extremadura	9.357	2.190	306.535.320
Galicia	35.372	8.277	1.158.786.720
Madrid	28.393	6.644	930.154.680
Murcia	11.854	2.774	388.337.040
Navarra	7.947	1.860	260.343.720
La Rioja	3.986	933	130.581.360
Valencia	32.731	7.659	1.072.267.560
País Vasco	23.105	5.407	756.919.800
TOTAL	441.447	103.299	14.461.803.720

Tabla 9. Coste por contaminación atmosférica en 2008 (euros)

	Impactos sobre las personas	Impactos sobre los edificios	Impactos sobre las cosechas	TOTAL
Andalucía	919.348.008	467	19.700.830	939.049.305
Aragón	94.993.288	75	2.901.190	97.894.553
Asturias	487.604.639	234	4.915.578	492.520.451
Baleares	335.175.800	228	2.234.707	337.410.735
Canarias	636.600.528	256	4.309.631	640.910.416
Cantabria	110.079.707	66	1.956.201	112.035.974
Castilla-La Mancha	108.064.309	100	4.511.326	112.575.735
Castilla y León	172.805.528	195	7.013.320	179.819.042
Cataluña	1.988.524.217	981	19.373.234	2.007.898.432
Extremadura	35.289.354	24	1.171.227	36.460.605
Galicia	484.360.024	221	10.941.059	495.301.304
Madrid	3.223.778.118	1.189	4.108.041	3.227.887.348
Murcia	221.468.842	133	5.990.130	227.459.105
Navarra	68.964.183	33	1.534.682	70.498.898
La Rioja	37.236.280	20	1.556.994	38.793.294
Valencia	1.032.111.747	570	11.877.168	1.043.989.485
País Vasco	1.016.224.815	297	8.412.613	1.024.637.725
TOTAL	10.972.629.387	5.091	112.507.930	11.085.142.408

Tabla 10. Costes sociales externos en España en 2008 (euros)

	Coste por accidente de tráfico	Coste por Ruido	Coste por Cambio Climático	Coste por Contaminación atmosf.	TOTAL
Andalucía	1.718.537.175	627.727.427	2.206.156.680	939.049.305	5.491.470.588
Aragón	458.223.033	46.611.492	763.406.280	97.894.553	1.366.135.357
Asturias	197.923.734	48.439.334	1.085.862.960	492.520.451	1.824.746.479
Baleares	254.423.407	90.881.297	348.238.800	337.410.735	1.030.954.239
Canarias	259.136.634	92.886.553	531.105.120	640.910.416	1.524.038.722
Cantabria	90.226.009	29.577.972	226.797.480	112.035.974	458.637.435
Castilla-La Mancha	650.316.953	69.252.436	948.860.640	112.575.735	1.781.005.764
Castilla y León	913.726.650	102.521.723	1.445.436.720	179.819.042	2.641.504.135
Cataluña	1.599.169.500	910.709.662	1.902.012.840	2.007.898.432	6.419.790.435
Extremadura	272.415.967	34.891.114	306.535.320	36.460.605	650.303.007
Galicia	717.128.493	141.177.922	1.158.786.720	495.301.304	2.512.394.439
Madrid	872.538.880	155.066.185	930.154.680	3.227.887.348	5.185.647.092
Murcia	257.610.366	73.008.601	388.337.040	227.459.105	946.415.112
Navarra	95.768.067	47.660.160	260.343.720	70.498.898	474.270.845
La Rioja	83.631.748	9.364.586	130.581.360	38.793.294	262.370.988
Valencia	1.107.826.282	449.891.104	1.072.267.560	1.043.989.485	3.673.974.432
País Vasco	385.612.560	178.813.321	756.919.800	1.024.637.725	2.345.983.406
TOTAL	9.934.215.457	3.108.480.890	14.461.803.720	11.085.142.408	38.589.642.475
	25,74%	8,06%	37,48%	28,73%	100,00%

Tabla 11. Extrapolación de los costes sociales externos (euros)

Extrapolaciones:	Accid+ruido+cambio clim+cont atmos	38.589.642.475	86,82%
	Biodiversidad y paisaje	1.497.893.287	3,37%
	Efectos indirectos	3.551.384.973	7,99%
	Efectos adicionales en áreas urbanas.	808.951.271	1,82%
	TOTAL	44.447.872.006	100,00%

Referencias:

–(1) BUTTON, K.; QUINER, E.; KAGESON, P.; BLEIJENBERG, A.; ROTHENGATTER, W.; BANISTER, D. (et al.) *Internalising the social cost of transport*. Paris: European Conference of Minister of Transport (ECMT); Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1994.

–(2) MAIBACH, M. (et al.). *External Cost of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe*. Paris: INFRAS-IWW. UIC, 2000.

–(3) MAYERES, I. (et al.). *The External Costs of Transport. Final Report*. Amberes: Sustainable Mobility Programme, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, State of Belgium. Prime Minister's Services, 2001. 98 p.

–(4) UE. *White Book on Fair Payment of Infrastructure Use*. Luxembourg: European Commission, 1998.

–(5) UE. *White Paper European Transport Policy for 2010: time to decide*. Luxembourg: European Commission, 2001.

–(6) NASH, C. (coord.). *Concerted action on transport pricing research integration (CAPRI). Final Report*, 2001. Brussels: EU, RTD IV FP, 2001. 29 p.

–(7) MAIBACH, M. (et al.). *UNITE. Policy perspectives*. Leeds (UK): UNITE, 2003.

–(8) INFRAS/IWW (SCHREYER, C.; SCHNEIDER, C.; MAIBACH, M.; ROTHENGATTER, W.; DOLL, C.; SCHMEDDING, D.). *External Costs of Transport*. Zurich/Karlsruhe: INFRAS, IWW, 2000.

–(9) EEA. European Environment Agency. *Are we moving in the right direction? - Indicators on transport and environment integration in the EU. TERM 2000*. Copenhagen: European Environment Agency, Environment issues series, nº 12, 2000. ISBN: 92-9167-217-3.

–(10) CENDRERO, B.; MONZÓN, A. *Desarrollo de una metodología para regionalizar los costes sociales externos del transporte por carretera en España*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2010.

–(11) INFRAS/IWW (SCHREYER, C.; SCHNEIDER, C.; MAIBACH, M.; ROTHENGATTER, W.; DOLL, C.; SCHMEDDING, D.). *External Costs of Transport. Update Study*. Zurich/Karlsruhe: INFRAS, IWW, 2004. 168 p.

–(12) Todd Alexander Litman. *Victoria Transport Po-*

licy Institute. Victoria, 2003.

–(13) ETSC. *European Transport Safety Council Yearbook 2005*. Bruselas: ETCS, 2005.

–(14) Extern E. *New elements for the Assessment of External cost from Energy Technologies (New Ext)*. Final Report to the European Comission, DG research, Technological Development and Demonstration (RTD). Luxembourg: European Comission, 2005.

–(15) UNITE (Suter, S. Sommer H. (et al.)). *The pilot accounts for Switzerland*. Leeds (UK), 2002.

–(16) ECOPLAN. *Latest developments in research: Theory, application and impacts. Thematic Network on Trans-alpine Crossings*. Bern: ECOPLAN, 2002. 32 p.

–(17) MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (España). *Inventario de Emisiones*. Madrid, 2009.

–(18) MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (España). *Informe de Coyuntura Ambiental*, nº 113. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Subsecretaría Técnica, 2008. 57 p.

–(19) ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *1 Conferencia Ministerial de la OMS sobre Medio Ambiente y Salud*. Seattle: OMS, 1999.