

Evaluación de los costes medioambientales y de seguridad en el transporte de mercancías por carretera

Fernando Lera López¹, Javier Faulín Fajardo, Sergio Úbeda Munárriz,

Jesús M^a Pintor Borobia y Jorge San Miguel Induráin

Resumen

La creciente preocupación por las consideraciones medioambientales del transporte por carretera está promoviendo políticas de tarificación por uso de infraestructuras en diferentes países europeos. Este trabajo, a partir de un problema típico de transporte de mercancías por carretera, estima para España los costes económicos asociados al ruido y las emisiones contaminantes. Asimismo, se han considerado los efectos de la inclusión de medidas de seguridad para reducir la siniestralidad en este sector. Los resultados manifiestan la relevancia económica de los costes medioambientales, que supondrían un incremento promedio del 28% en los costes de transporte, con importantes efectos distorsionadores sobre los flujos comerciales.

Palabras claves: externalidades, costes medioambientales, seguridad, transporte por carretera, VRP, algoritmos.

JEL: F18, H23, Q53, R41, C44

¹ Departamento de Economía, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía s/n, 31006 Pamplona. Email: lera@unavarra.es. Teléfono: 948169351.

Evaluación de los costes medioambientales y de seguridad en el transporte de mercancías por carretera

1. Introducción

La creciente preocupación por los efectos medioambientales de la actividad económica se ha trasladado en las últimas décadas al ámbito del transporte y la logística. De hecho, la consideración de las distintas externalidades asociadas al transporte ha dado lugar a que se extienda la noción de movilidad sostenible (Comisión Europea, 1998a). Bajo este concepto, cada vez de uso más frecuente, se aúnan las consideraciones económicas de esta actividad junto con los distintos impactos medioambientales y sociales que genera la misma.

Las externalidades medioambientales asociadas al transporte en el ámbito europeo tienen gran importancia en términos del PIB, al pasar del 4,60% en 1990 (INFRAS/IWW, 1995) al 8% en el año 2000 (INFRAS/IWW, 2004). En trabajos de la OCDE para Europa central y oriental, se han estimado dichos costes en el 14% del PIB (OCDE, 2003).

Entre las diferentes fuentes de generación de externalidades medioambientales negativas destaca el transporte por carretera, que es responsable del 90% de los costes externos del transporte (Betancor y Nombela, 2003). Dentro del mismo, el transporte de mercancías por carretera genera el 30% de las externalidades asociadas al transporte (European Environment Agency, 2002).

Otro ámbito de preocupación constante en el desarrollo de cualquier actividad es el análisis de la accidentabilidad. La siniestralidad en el sector del transporte ha seguido una evolución creciente en la década de los 90, tanto si se consideran los índices de incidencia como los índices de frecuencia (Pinilla *et al.*, 2001). Si consideramos la siniestralidad respecto a otras actividades económicas, se observa que el

índice de incidencia de accidentes mortales es el triple que el conjunto nacional, sólo superado por las actividades de pesca y la industria extractiva (Pinilla *et al.*, 2001).

En este contexto, el presente trabajo pretende analizar para España y de manera conjunta algunas de las externalidades medioambientales más importantes (ruido y emisiones contaminantes) y la accidentabilidad tanto en ruta como en operaciones de carga y descarga en el ámbito del transporte por carretera. La consideración económica de estas externalidades medioambientales y de seguridad y su interiorización en las estructuras de costes de las empresas pueden generar importantes efectos sobre la competitividad y el comercio internacional, a la vez que pueden provocar el desarrollo de otros modos de transporte menos contaminantes y más seguros.

Para ello, se ha planteado un problema base de transporte y se han aplicado dos tipos de algoritmos heurísticos clásicos: el algoritmo de Clarke-Wright (1964) y el algoritmo de Mole-Jameson (1976). Estos nos han permitido planificar la gestión del transporte de diversos operadores logísticos teniendo en cuenta los aspectos de seguridad y los medioambientales.

Este artículo se estructura de la siguiente manera. Después de la introducción, los apartados 2 y 3 recogen respectivamente el estudio de los costes medioambientales y de seguridad en el transporte de mercancías por carretera. El apartado 4 señala la metodología empleada para la estimación de ambos tipos de costes, cuyos resultados se detallan en el apartado 5. Termina el artículo con un apartado de conclusiones.

2. Costes medioambientales en el transporte de mercancías por carretera

La consideración de los costes medioambientales está modificando sustancialmente la política de transporte de los países desarrollados, especialmente en el ámbito de la UE. A su importancia económica

en términos de PIB, recogida en distintos estudios (entre otros, INFRAS/IWW y UNITE), hay que unir una nueva sensibilidad medioambiental en ciudadanos y gobiernos. De hecho, ya en el año 1998, la Conferencia Europea de Ministros de Transporte (CEMT) instó a los gobiernos europeos a desarrollar instrumentos para la internalización de las externalidades del transporte (CEMT, 1998).

Más recientemente, la UE ha incorporado esta visión en la política comunitaria de transporte, tanto en el Libro Blanco sobre tarifas justas por el uso de las infraestructuras (Comisión Europea, 1998b), como en el Libro Blanco del transporte (Comisión Europea, 2001). En este contexto, en el año 2004, el Parlamento Europeo solicitaba a la Comisión la creación de un modelo de aplicación general para la valoración de todos los costes externos ambientales, de congestión y relacionados con la salud, que sirva de base para cálculos futuros de tarificación de infraestructuras (Parlamento Europeo, 2004).

En este entorno, diversos países europeos como Alemania, Suiza y Francia han implementado políticas de tarificación de sus infraestructuras de transporte por carretera basadas parcialmente en consideraciones medioambientales (SCA, 2001). Por su parte, la OCDE en sus directrices para un transporte ambientalmente sostenible (OCDE, 2002), establece la necesidad de incorporar los costes externos en el análisis de viabilidad económica e implicaciones de la política de transporte.

Lógicamente, la inclusión de tarifas medioambientales por la utilización de las infraestructuras de transporte genera importantes efectos sobre las decisiones logísticas y de transporte de los usuarios, especialmente de las empresas de transporte. Asimismo, estas tarifas pueden generar relevantes distorsiones en los flujos físicos del comercio internacional², y tener efectos significativos sobre el desarrollo de otras modalidades de transporte.

² Véase por ejemplo, Bowen *et al.* (2001) para un análisis aplicado y una revisión de los efectos de aranceles y tarifas sobre el comercio internacional.

Diversos estudios en el ámbito europeo han estimado periódicamente los diferentes costes medioambientales asociados a los distintos medios de transporte; entre otros, cabe destacar los estudios INFRAS/IWW y UNITE. Asimismo, hay que reseñar el trabajo de Sansom *et al.* (2001), que cuantifica dichos efectos exclusivamente para el Reino Unido.

Entre los distintos costes medioambientales considerados en los estudios empíricos hasta ahora realizados, destacan dos por sus impactos medioambientales en el ámbito del transporte por carretera de mercancías. Hablamos del ruido y de las emisiones contaminantes, que pasamos a analizar en los dos siguientes subepígrafes.

2.1. El impacto del ruido en el transporte por carretera

El ruido es uno de los principales problemas de la contaminación medioambiental que afecta al conjunto de la población, tanto en el mundo urbano como en el interurbano, ya que proviene de muy diversas fuentes y no es sencillo de controlar su emisión a la atmósfera. De hecho, se calcula que entre el 17% y el 22% de la población de la UE está expuesta a niveles de ruido superiores a los 65 dB, causados por el transporte (Flores *et al.*, 2004).

Dentro del transporte, el ruido generado por el transporte por carretera es la principal fuente de ruido para 9 de cada 10 ciudadanos expuestos a niveles de ruido superiores a los 65 dB (Flores *et al.*, 2004).

Además, del conjunto de costes medioambientales, el ruido es el más importante en esta modalidad de transporte (Sansom *et al.*, 2001). Por lo que respecta a España, es uno de los países europeos donde el porcentaje de población expuesta a ruidos es mayor, con el 50% de la población expuesta a niveles entre 55-65 dB y más del 20% a niveles superiores a 65dB (Flores *et al.*, 2004).

Por otro lado, en la actualidad, existe un amplio consenso acerca de los efectos nocivos para la salud del

ser humano que implica el ruido. Así, la Organización Mundial de la Salud destaca numerosos efectos nocivos del ruido: problemas de audición, dificultades de comunicación oral, trastornos del sueño y el descanso, efectos psicológicos y fisiológicos, menor rendimiento laboral y académico, afecciones cardiovasculares, malestar e interferencias en actividades, incremento del estrés (OMS, 1999). Estos efectos son mayores en determinados grupos de población considerados especialmente vulnerables, como la población infantil, la tercera edad, las personas enfermas, etc.

El ruido producido por la operación del transporte por carretera es un fenómeno complejo, esencialmente en razón de los efectos sensoriales que produce sobre los seres humanos, así como del hecho de la dificultad de medirlo físicamente. Su intensidad varía con la distancia que separa la fuente del receptor y el contexto ambiental en el cual se propaga. En concreto, las diferentes fuentes de ruido asociadas a esta modalidad de transporte se pueden clasificar en: el ruido de los neumáticos, del motor, de los sistemas de admisión y de escape, el ruido del freno y el ruido aerodinámico.

Así, la propagación del ruido depende de la interacción entre los vehículos (tipo, número y velocidad), la estructura de la carretera (diseño, construcción y materiales), el medio próximo al sistema carretera-entorno, sus componentes y receptores, las características de los edificios, el número de habitantes, etc.

A su vez, ciertos factores ejercen influencia en la propagación del ruido como son la distancia, la absorción del aire, la temperatura y el viento, el efecto de suelo, la topografía y los obstáculos (vegetación y barreras, entre otros).

Los impactos tan negativos del ruido han hecho que se desarrollen tres planteamientos básicos a la hora de reducir la exposición al ruido ambiental. En primer lugar, la reducción del ruido en la fuente (máquinas, motores, contacto de neumáticos y superficie), reducción de las velocidades y reducción del

volumen de tráfico. En segundo lugar, la limitación de la transmisión del ruido colocando barreras entre la fuente y las personas afectadas. En tercer lugar, la reducción del ruido en el punto de recepción, por ejemplo, a través del aislamiento de los ruidos en los edificios.

Los instrumentos desarrollados para la aplicación de estos métodos incluyen: normas de emisión para fuentes individuales fijadas generalmente en la legislación, normas de emisión basadas en criterios de calidad para el ruido, planificación de la utilización del suelo, medidas de infraestructura, instrumentos económicos, procedimientos operativos, investigación y desarrollo y acciones de educación e información. Especial importancia adquieren los instrumentos económicos y otros procedimientos operativos. Los primeros incluyen impuestos y tasas por la emisión de ruidos, incentivos económicos para fomentar la reducción de ruido y el desarrollo de camiones con niveles de ruido bajos, así como el pago de compensaciones a las personas afectadas por el ruido. Entre los procedimientos operativos, se encuentran los límites de velocidad en las secciones más sensibles de las carreteras, la aplicación de rutas preferenciales, así como restricciones en la utilización de vehículos ruidosos en zonas sensibles y durante períodos específicos.

La mayoría de estos instrumentos han sido desarrollados y aplicados a escala nacional y local. No obstante, a nivel internacional se ha avanzado en el establecimiento de normas de emisión homogéneas para controlar el ruido de fuentes individuales. Una de las últimas iniciativas legislativas ha sido la aprobación de la Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (Comisión Europea, 2004), que constituye en la actualidad un referente básico, coherente e integrado, de la política comunitaria en esta materia. La nueva norma introduce medidas que permiten clasificar y comprender

los problemas causados por el ruido en sus distintas fuentes y preparar el camino de medidas concretas³.

La importancia del impacto del ruido en el transporte por carretera ha llevado a la realización de relevantes estudios en el ámbito europeo para su estimación. Desafortunadamente, no existen estimaciones únicas debido a los distintos métodos de evaluación empleados (Gobierno Vasco, 2005).

No obstante, a pesar de la diversidad de resultados (Verhoef, 1994), Quinet (2004) en un meta-análisis de los estudios más significativos ha concluido que las estimaciones de costes externos resultan fiables para la toma de decisiones políticas y sus resultados pueden ser transferibles entre países europeos.

En Quinet (1993), el coste del ruido varía entre el 0,2% y el 2% del PIB. En INFRAS/IWW (2004), para 15 países europeos, el coste total del ruido en el transporte se estimó en el 0,51% del PIB, lo que supone el 7% del total de costes externos generados por el transporte (INFRAS/IWW, 2004).

Por países, en Victoria Transport Policy Institute –VTPI- (2003) se detalla, por ejemplo, que el coste del ruido puede suponer el 0,24% del PIB en Francia, el 0,50% en el Reino Unido, o una media de 0,15% del PIB en los países de la OCDE. En Estados Unidos, las estimaciones dan valores inferiores a los europeos (Delucchi, 2004; Delucchi y Hsu, 1998) por dos razones: existe una menor preocupación por este tema y, además, hay una menor densidad de población. En Canadá, según VTPI (2003), supone un coste entre 1.000 y 1.500 dólares canadienses por persona afectada.

Tabla 1: Comparativa de los costes asociados a la contaminación acústica en los estudios INFRAS y UNITE

Valores	INFRAS (2004)	UNITE (2003)
---------	---------------	--------------

³ En España, para efectuar la transposición de la Directiva comunitaria 2002/49/CE, sobre Ruido Ambiental, el Ministerio de Medio Ambiente ha aprobado la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (BOE número 276, de 18.11.2003). Esta nueva normativa tiene como objetivos prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica para evitar los riesgos y reducir los daños en la salud humana, los bienes o el medio ambiente, así como con el fin de proteger el derecho a la intimidad de las personas y el disfrute de un entorno adecuado.

Costes medios⁽¹⁾	euros/1000 tKm	euros/1000 vehicle-Km
Camión + camioneta	6,62	15,6 ⁽¹⁾
Camioneta	20,4	Nd.
Camión	2,93	Nd.
Costes marginales	euros/1000 tKm	euros/1000 vehicle-Km
Camioneta	2,4-307	Nd.
Camión	0,25 – 32	Nd.
Camioneta (interurbano vs. urbano)	0,71 – 92,10	Nd.
Camión (interurbano vs. urbano)	1,31 – 169,47	Nd.

⁽¹⁾ Incluye también coches y autobuses. Nd.: No disponible.

Fuente: Elaboración propia a partir de INFRAS/IWW (2004) y Betancor y Nombela (2003)

Para el caso de España, Betancor y Nombela (2003) calculan un coste total de 2.733 millones de euros en 1998, lo que supone el 46% de los costes de la carretera relacionados con el medioambiente. En la Tabla 1 se comparan las estimaciones de costes de la contaminación acústica para los dos estudios europeos más significativos: INFRAS/IWW (2004) y UNITE (Betancor y Nombela, 2003).

2.2. El impacto de las emisiones en el transporte por carretera

La contaminación del aire es un serio efecto externo del tráfico generado por el transporte, ya que causa daños que afectan tanto a seres humanos, como a la flora y fauna. En general, los vehículos utilizados en labores de transporte de mercancías por carretera emiten contaminantes como consecuencia de la combustión de combustibles fósiles líquidos, aunque la composición de estas emisiones depende en gran medida de la composición exacta del combustible empleado y de las condiciones en las que se produce dicha combustión.

Pese a las mejoras técnicas en motores y combustibles que han permitido la reducción de las emisiones, el incremento continuo del tráfico rodado ha provocado un aumento de la contaminación atmosférica asociada al transporte. Esta situación se ve agravada por la mayor concentración de la población en áreas urbanas, lo que lleva a que los efectos adversos del transporte se incrementen.

Si nos centramos en el transporte de mercancías por carretera, las sucesivas legislaciones europeas, desde la norma Euro I en 1992 hasta las recientes normas Euro IV y Euro V para el período 2005-08, regulan las emisiones emitidas por los motores diesel de vehículos pesados del mismo modo que lo harán las propuestas de la agencia alemana de medioambiente (UBA) para 2008 y 2010 (Euro V – UBA y Euro VI - UBA).

La Comisión Europea ha adoptado la Directiva 2001/27/EC, que prohíbe el uso de mecanismos inservibles de emisiones, así como las estrategias irracionales de control de emisiones, que pueden reducir la eficiencia de los sistemas de control de emisiones cuando los vehículos operan por debajo de las condiciones normales de circulación determinadas durante las pruebas de emisiones.

La Tabla 2 contiene un resumen de las normas de emisión de contaminantes de los vehículos pesados y sus fechas de implantación, cuyos valores han sido certificados según el Ciclo Europeo Estacionario (ESC) y el Ciclo Europeo Transitorio (ETC).

Tabla 2: Normas europeas de emisiones para vehículos pesados, y propuestas para 2008 y 2010

Norma	NOx (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (mg/kWh)
Euro I (1992-93)	9,0	1,23	400
Euro II (1995-96)	7,0	1,1	150
Euro III (2000)	5,0 ⁽¹⁾	0,66 ⁽²⁾	100/160 ⁽³⁾
Euro IV (2005)	3,5 ⁽¹⁾	0,46 ⁽²⁾	20/30 ⁽³⁾
Euro V (2008)	2,0 ⁽¹⁾	0,46 ⁽²⁾	20/30 ⁽³⁾

Euro V – UBA (2008)	1,0 ⁽¹⁾	0,46 ⁽²⁾	2/3 ⁽³⁾
Euro VI – UBA (2010)	0,05 ⁽¹⁾	0,46 ⁽²⁾	2/3 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Ciclo ESC y ciclo ETC.

⁽²⁾ Ciclo ESC.

⁽³⁾ Ciclos ESC y ETC respectivamente.

Nota: También existen valores para CO Y CH₄, pero no se han incluido en esta tabla.

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión de las Comunidades Europeas (2001)

En cuanto a la evaluación económica de las emisiones contaminantes, las pérdidas económicas derivadas directamente de dicha contaminación suponen alrededor del 2% del PIB. A ello hay que añadir los efectos sobre el cambio climático generado por dichas emisiones del transporte por carretera, que suponen unas pérdidas del 2,2% del PIB aproximadamente. Y, en consecuencia, el conjunto de ambos efectos externos supone alrededor del 4,2% del PIB (INFRAS/IWW, 2004).

Tabla 3: Comparativa de los costes asociados a la contaminación atmosférica en los estudios INFRAS y UNITE

Valores	INFRAS (2004)		UNITE (2003)	
	Vehículo ligero	Vehículo pesado	Vehículo ligero	Vehículo pesado
Costes medios	euros/1000 Tm-km		euros/1000 vehicle-km	
Contaminación del aire	69,1	24,2	15,0	22,8
Calentamiento global	62,3 ⁽¹⁾	13,0 ⁽¹⁾	13,4	15,8
Contaminación de la naturaleza, suelos, agua	11,4	2,6	Nd.	Nd.
Costes marginales	euros/1000 Tm-Km		euros/1000 vehículo-km	
Contaminación del aire	15 - 100	33,5	Nd.	Nd.
Calentamiento global	8,2 - 57,4	1,8 - 12,8	Nd.	Nd.

Contaminación de la naturaleza, suelos, agua	10,9	0,8	Nd.	Nd.
⁽¹⁾ Los costes del cambio climático toman un valor sombra de 140 €/Tm CO ₂ . Nd.: No disponible.				

Fuente: Elaboración propia a partir de INFRAS (2004) y Betancor y Nombela (2003)

En el caso de España, el 72% de las emisiones contaminantes y un 33% del impacto sobre el cambio climático están asociados al transporte por carretera. En la Tabla 3, se recogen las estimaciones de costes de la contaminación ambiental para los dos estudios europeos más significativos: INFRAS/IWW (2004) y UNITE (Betancor y Nombela, 2003).

3. Costes de seguridad en el transporte de mercancías por carretera

La accidentalidad en el sector del transporte de mercancías por carretera, que contempla accidentes tanto en ruta como en las operaciones de carga y descarga, es un hecho que no debe pasarse por alto en la gestión habitual de las empresas de transporte y operadores logísticos.

Según datos de la Dirección General de Tráfico (2005), recogidos en la Tabla 4, la evolución de la siniestralidad se mantiene casi inalterable en el período 2003-04 en lo que se refiere a defunciones, con una reducción significativa en términos de heridos graves. Por tipo de vehículo se observa una evolución dispar. Si bien se ha producido un descenso de la siniestralidad mortal en las furgonetas (-6,62%) y vehículos articulados (-11,42%), la siniestralidad aumentó considerablemente en los camiones pequeños (67,85%), y en los camiones de más de 3.500 kg de MMA (3,17%).

Tabla 4: Evolución de la siniestralidad por tipo de vehículo en el transporte de mercancías por carretera

Vehículo	Muertos		Heridos graves		Heridos leves	
	2004	2003	2004	2003	2004	2003

Furgoneta	141	151	539	770	2854	3081
Camión – 3.500 MMA	47	28	135	174	640	700
Camión + 3.500 MMA	65	63	265	289	909	919
Vehículo articulado	62	70	206	214	536	496
TOTAL	315	312	1145	1447	4939	5196

Nota: Cómputos a 24 horas.

Fuente: Elaboración propia a partir de Dirección General de Tráfico (2005)

Un análisis específico de esta problemática debe de comprender la gravedad del accidente, el tipo de lesión producida y la causa que lo ha producido. La primera dificultad a la hora de analizar la accidentabilidad reside en la diversidad de tipologías de accidentes. En este trabajo, nos vamos a centrar en aquellos accidentes sobre los cuales las empresas tienen capacidad de control, obviando la problemática de los accidentes de tráfico, donde las causas y las variables que intervienen son múltiples, y muchas de ellas ajenas al control de las empresas.

El establecimiento de medidas de seguridad en el transporte por carretera, aunque a corto plazo suponga un incremento de costes empresariales, puede implicar en el medio o largo plazo una reducción de los costes asociados al absentismo laboral. Por ello, una política de transporte más segura no tiene porqué impactar negativamente a largo plazo en la rentabilidad de la actividad.

Para analizar en detalle esta problemática, primeramente se ha hecho una revisión de la accidentalidad en el sector del transporte, analizándose las lesiones más importantes, así como las causas más comunes de accidente (Tablas 5 y 6). Para ello, se han consultado las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) y del Instituto Navarro de Salud Laboral (INSL).

Tabla 5: Lesiones en el sector del transporte en Navarra en 2001

LESIÓN	
Torceduras, esguinces y distensiones	35,52%
Contusiones y aplastamientos	16,34%
Lumbalgias y cervicalgias	13,85%
Fracturas	10,48%
Heridas	7,99%
Traumatismos superficiales	4,44%
Lesiones múltiples	3,91%
Luxaciones	3,02%

Fuente: Gobierno de Navarra (2004)

Tabla 6: Causas de accidente en el sector del transporte en Navarra en 2001

CAUSA	
Sobreesfuerzos	27,18%
Caída persona distinta altura	12,61%
Atropello por golpes de vehículos	11,90%
Golpes y cortes	11,01%
Pisadas sobre objetos	9,59%
Caídas persona a mismo nivel	8,34%
Atrapamientos por o entre objetos	5,68%
Caída objetos en manipulación	3,02%

Fuente: Gobierno de Navarra (2004)

Como se puede observar en las Tablas 5 y 6, las lesiones más importantes están asociadas a torceduras y esguinces, seguidas a gran distancia por

contusiones y lumbalgias, asociadas todas ellas en gran parte a sobreesfuerzos.

En segundo lugar, se ha hecho una revisión de datos de absentismo en el sector del transporte. De nuevo se han consultado las bases de datos del INE y del INSL. Desafortunadamente, no se han encontrado estudios suficientemente desagregados que hagan referencia única al sector del transporte por carretera. No obstante, se conoce el porcentaje medio de absentismo total en España (4,26%), dado por el Ministerio de Economía y Hacienda (1997).

Esta carencia de información ha llevado a la realización de una encuesta a las empresas de transporte ubicadas en Navarra para estimar un porcentaje medio de absentismo en el sector, que se describe con mayor detalle en el apartado metodológico. De la misma, se concluye que las causas del absentismo en el sector se deben fundamentalmente a riesgos como: las intoxicaciones, las averías, los desprendimientos de la carga, la fatiga, estrés y trastornos reumáticos, las caídas a distinto y al mismo nivel, las pisadas sobre objetos, los cortes con objetos y herramientas, los atrapamientos, los sobreesfuerzos, el trazado de carreteras y condiciones climatológicas, y el transporte de mercancías peligrosas.

En general, la paliación o disminución de la mayoría de estos riesgos está directamente ligada a trabajos de mantenimiento, tanto sobre los vehículos como sobre las instalaciones.

Por otra parte, existen una serie de accidentes que están asociados directamente a los tiempos de conducción y descanso. Así, el cansancio humano es una de las principales causas de accidentes en el sector del transporte por carretera en todo el mundo.

La entrada de España en la actual Unión Europea, el 1 de enero de 1986, supuso, entre otras muchas cosas, la aplicación directa de la reglamentación sobre tiempos de conducción y descanso que a tal efecto existía en estos países. Dicha normativa está compuesta por el Reglamento CEE 3820/85 y el Reglamento CEE 3821/85 relativos a la armonización de determinadas disposiciones en materia social, y al aparato de control en el sector de los transportes por carretera, respectivamente.

En el caso del transporte de mercancías, ambos Reglamentos son de aplicación a todos los conductores que realicen algún tipo de transporte por carretera por el territorio de la UE, lleven el vehículo en carga o circulen en vacío, pero siempre y cuando el vehículo que conduzcan tenga un PMA superior a 3.5 Tm.

4. Metodología

A continuación, se detalla la metodología empleada para la cuantificación de los costes económicos asociados a las emisiones contaminantes y de ruido en la actividad del transporte de mercancías por carretera.

Primeramente, se explica la metodología para la selección de los costes económicos medioambientales a partir de la evidencia empírica disponible.

En segundo lugar, se describe la metodología de determinación de los costes asociados a la seguridad. Finalmente, se detalla la selección de los algoritmos que permitirán minimizar los impactos medioambientales generados por la actividad del transporte por carretera, a partir del establecimiento de una ruta base.

Asimismo, en los métodos de computación recogidos en el subepígrafe 4.3, se incluirán mejoras en la seguridad que permitan reducir el

absentismo y la accidentabilidad. Además, dichos métodos de computación tienen que cumplir la restricción de realizar el reparto y el transporte según los plazos de entrega establecidos a priori.

4.1. Metodología de estimación de los costes medioambientales

Los efectos negativos que generan los costes medioambientales se pueden cuantificar en términos económicos desde tres perspectivas diferentes. Por un lado, la estimación de los daños causados a la salud humana. Estos daños se pueden analizar desde tres ámbitos complementarios. En primer lugar, mediante la estimación de la disposición a pagar por reducción del ruido. En segundo lugar, cabe estimar los costes médicos de atención y las pérdidas económicas por bajas médicas, a partir del número de personas expuestas. En tercer lugar, se pueden inferir los costes de mortalidad asociados al ruido, fundamentalmente por ataques al corazón.⁴

Por otro lado, hay que analizar los daños causados al valor de la propiedad y los bienes. Para ello, se estiman unos índices de depreciación de las propiedades en función del nivel de ruido. Así, por ejemplo, la OCDE (2003) recomienda usar un índice de 0,5% del valor de la propiedad por cada decibelio de incremento del ruido por encima de 50dB. En otros trabajos (VTPI, 2003), a partir de 65dB, el índice se ha estimado en 0,8%.

Finalmente, hay que considerar los daños causados al ecosistema. Posiblemente sea ésta la medición más complicada de realizar. Por un lado, la elevada incertidumbre sobre los efectos globales a largo plazo se traduce en numerosas hipótesis y escenarios. Por otro lado, se plantea el problema de la reducción de emisiones como responsabilidad política de los países. Por ello, quizá la mejor manera de valorar este impacto es emplear el método de costes de reparación, basado en las recomendaciones de la Directiva IPCC de la Comisión Europea (2005) de reducir a la mitad las

⁴ Así, alrededor del 8% de los ataques al corazón están relacionados con el ruido en el transporte (INFRAS, 2004).

emisiones de CO₂ del transporte.

A continuación, en la Tabla 7, se recoge una comparativa de la metodología para las estimaciones de los costes del ruido y de las emisiones en el transporte por carretera. Como se observa en la misma, las estimaciones de los costes medioambientales se suelen expresar tanto en costes medios como en costes marginales. Dada la variabilidad que presentan estos últimos, y por distintas consideraciones de política de transporte, se recomienda habitualmente el uso de los costes medios (Bossche *et al.*, 2003). En general, el estudio más actual y con mayor información disponible es el referido a INFRAS/IWW (2004), que incluye datos de costes medios aplicados a España y datos marginales comunes al conjunto de países europeos. Por su parte, Betancor y Nombela (2003) sólo ofrecen costes medios, pero sin desglosar por tipo de vehículo. Finalmente, el trabajo de Sansom *et al.* (2001), si bien resulta un trabajo exhaustivo, resulta difícil de aplicar a España ya que las condiciones de tráfico de ambos países parecen a simple vista diferentes.

Tabla 7: Comparativa de metodologías para la estimación del coste del ruido y de las emisiones en el transporte por carretera

	INFRAS/IWW (2004)	UNITE (2003)	UK (2001)
Fuente de datos de ruido	Basado en valores nacionales de previsiones de tráfico (estudio TREND). Los datos de población expuestas son de la OCDE (1993). Datos referidos a 2000.	Basado en datos reales de tráfico en España. Los datos de población expuesta son de la OCDE (1993). Las emisiones de ruido permanecen constantes entre 1996 y 1998. Datos referidos a 1998.	Aplicado al Reino Unido. Los datos se basan en la situación en dicho país. Datos referidos a 1998.
Fuentes de datos de emisiones	Basados en valores nacionales del TRENDS para emisiones y volúmenes de tráfico.	Base de datos del inventario de emisiones CORINAIR (1996).	Aplicado al Reino Unido. Base de datos del inventario nacional de emisiones atmosféricas (1999).
Metodología (ruido)	Método: “ <i>Avoidance cost approach</i> ”. Estimación de las propiedades y personas afectadas por el ruido. Costes: disposición a pagar por reducción, costes médicos y disposición a pagar para evitar muertes. Alemania es la referencia y para el resto de países se ajusta según renta per capita.	Método: “ <i>Avoidance cost approach</i> ”. Costes: impacto en la salud en cuatro enfermedades y pérdida de valor de las propiedades mediante precios hedónicos. Los valores obtenidos son inferiores a los del INFRAS.	Método: “ <i>Damage cost approach</i> ” . Estimación de los niveles de ruido por tipo de vía y la población afectada. Mediante precios hedónicos recoge la caída del precio de las propiedades. Maneja un rango del índice de depreciación NSDI (0,22; 0,44 y 0,67), obteniendo estimaciones de costes altas y bajas.
Metodología (emisiones)	Método: “ <i>Top down allocation</i> ”. Costes basados en el impacto en la salud humana, materiales y edificios, y en producciones agrícolas. Los valores obtenidos son superiores a los del UNITE.	Método: “ <i>Bottom up approach</i> ”. Datos de emisiones constantes para 1996 y 1998, y basadas en estimaciones futuras de volumen de tráfico para 2005.	Método: “ <i>Step by step approach</i> ”. Costes basados en el impacto sobre la salud y su entorno, según tipo de vehículo.
Tipos de coste (ruido y emisiones)	Medios y marginales.	Marginales.	Completos y marginales.
Consideración del ruido	Por encima de 55dB.	Por encima de 55dB.	Por encima de 55dB.
Valores para España (ruido y emisiones)	Sólo para costes medios pero no para marginales (no refleja las condiciones de tráfico en España).	Sí, pero sólo el total del coste medio.	No hay valores para España.
Costes medios	Valores por tipo de vehículo y en Euro/1000 Tm-km.	Valores totales, incluyendo camioneta, camión,	Valores por tipo de vehículo.

(ruido y emisiones)		autobús y coche, y en Euro/1000 vehículo-km.	
Costes marginales (ruido y emisiones)	Valores por tipo de vehículo, vía, día/noche y condiciones del tráfico (densa y fluida), dados en Euro/1000 Tm-km.	No hay valores.	Valores según región, tipo de vía, de vehículo y períodos de tiempo (día/noche).

Fuente: Elaboración propia a partir de INFRAS/IWW (2004); Betancor y Nombela (2003) y Sansom et al. (2001).

Por todo ello, se ha optado en el presente trabajo por utilizar los valores de costes medios recogidos en el estudio INFRAS/IWW (2004), que constituirán los índices y parámetros fundamentales a incluir en el algoritmo del transporte que consideren los costes medioambientales en el transporte de mercancías por carretera. Dichos costes aparecen recogidos en la Tabla 8.

Tabla 8: Costes aplicados por ruido y contaminación ambiental (€/ 1000 Tm-km)

Tipo de vehículo	Contaminación acústica	Contaminación del aire	Calentamiento global ⁽¹⁾
Vehículos ligeros	20,4	69,1	62,3
Vehículos pesados	2,93	24,2	13,0

⁽¹⁾ Los costes del cambio climático toman un valor sombra de 140€/ Tm CO₂.

Fuente: Elaboración propia a partir de INFRAS/IWW (2004)

4.2. Metodología de estimación de los costes de seguridad

En este estudio, además de implementar las restricciones habituales del transporte de mercancías por carretera, hemos incluido un conjunto de variables que nos permitan estudiar la influencia que tiene en los costes del transporte la implementación de medidas de seguridad adicionales, con las que se intentará disminuir la accidentalidad laboral del sector y que contribuirán de esta manera a una reducción del absentismo. Para poder cuantificar todas estas medidas de seguridad y traducirlas a los parámetros que incluiremos en el cálculo de rutas, nos hemos basado principalmente en la aplicabilidad de las mismas en la gestión del transporte. Asimismo, se han realizado una serie de entrevistas en profundidad entre profesionales del sector en Navarra. Las principales restricciones a considerar por la implantación de medidas adicionales de seguridad se recogen en la Tabla 9.

Tabla 9: Restricciones debidas a la aplicación de medidas de seguridad adicionales

Operativa	Tiempo de conducción (paradas incluidas)	Tiempo destinado para las operaciones previas y posteriores a la descarga	Productividad de descarga
Actual	9 h	15 min	1 min/palet
Aplicando medidas de seguridad adicionales	8 h 45 min	20 min	1 min/palet

Fuente: Elaboración propia (ETMOL, Pintor et al., 2005)

4.3. Algoritmos en el transporte de mercancías por carretera y planteamiento del problema

La aplicación de algoritmos de optimización en el transporte de mercancías por carretera se remonta a las décadas de los 50 y 60 (Toth y Vigo, 2002) y ha evolucionado hasta hoy día, siendo Fisher (1995) quién divide en tres generaciones a los investigadores de la gestión de rutas por carretera.

Se pueden agrupar los métodos de resolución en dos grandes familias. En primer lugar, los métodos de resolución exactos, que engloban (a) métodos de búsqueda directa arborescente (“Direct Tree Search Methods”), (b) programación dinámica, y (c) programación lineal entera. Estos métodos están basados en las formulaciones de programación matemática. Debido a la potencia de los ordenadores actualmente, se pueden obtener buenas soluciones de rutas de transporte empleando estos métodos. En segundo lugar, tenemos los métodos de resolución heurísticos, que engloban a los (a) métodos de construcción, (b) métodos de dos fases, y (c) métodos de mejora.

Tras una revisión de los diferentes algoritmos de optimización se han seleccionados dos algoritmos para la construcción de rutas seguras y sostenibles: el algoritmo de los ahorros de Clarke-Wright, y el algoritmo de Mole-Jameson. El algoritmo de Clarke-Wright (1964) es ampliamente conocido en

el mundo de la gestión de rutas para vehículos en las empresas de transporte y es lógico comenzar por este procedimiento. El método de Mole-Jameson (1976) constituye una generalización del anterior y el ajuste de parámetros se realiza de forma sencilla y natural.

Las razones de selección de estos dos algoritmos han sido las siguientes. En primer lugar, ambos son algoritmos constructivos de fácil desarrollo. Esta circunstancia es clave para facilitar la inclusión de los parámetros económicos asociados a las medidas de seguridad y medioambientales, respetando la filosofía inicial de estos procedimientos.

En segundo lugar, los algoritmos seleccionados son de fácil implementación en la empresa. Los procedimientos de optimización de rutas en el ámbito empresarial han de tener en muchos casos una estructura sencilla, ya que el número de nodos involucrados suele ser pequeño (no suele pasar de 300) y el número de restricciones adicionales suele ser grande. Por ello, la elección de procedimientos plausibles en la construcción de rutas en empresas de transporte se ha de centrar en algoritmos clásicos de construcción sencilla.

Finalmente, los algoritmos elegidos son heurísticos y parametrizables para una buena adaptación a cada caso real. Este tipo de algoritmos, frente a otros, dan soluciones muy próximas al óptimo y permiten ajustarse a las necesidades precisas de los problemas a resolver.

El problema base resuelto consiste en planificar la distribución desde un almacén central para un conjunto de hasta 300 destinos. Para ello, se requerirá un determinado número de vehículos que asuman el reparto de la mercancía solicitada por los clientes. Estos destinos, que se suponen ubicados en diversos núcleos urbanos, se localizan en la geografía aleatoriamente, existiendo la posibilidad de que queden agrupados.

Por último, para resolver el problema, tenemos en cuenta las limitaciones horarias oportunas, así como las restricciones debidas a la capacidad, tanto en peso como en volumen, de los vehículos. El objetivo, entonces, será llevar a cabo la operación con el menor coste posible.

En este caso, para poner en marcha estos algoritmos hemos incluido una serie de costes unitarios (Ministerio de Fomento, 2002) a partir de los cuales calculamos el coste total de cada ruta obtenida:

- Coste del conductor: es un coste variable, ya que depende de las horas de conducción necesarias. Se calcula a partir de componentes como el salario, el absentismo y las improductividades.
- Coste por vehículo: es un coste fijo, ya que se aplica cada vez que ponemos en marcha un vehículo. Se calcula a partir de la amortización de dicho vehículo, las dietas, los costes informáticos o de comunicación y los seguros.
- Coste por kilómetro: es un coste variable que se calcula en función del consumo de combustible, el mantenimiento y la degradación de los neumáticos.
- Coste de autopista: se aplica cuando se ha utilizado este tipo de red viaria, siendo su importe equivalente a los peajes incluidos en el trayecto.

Toda esta estructura de costes se ha aplicado a 10 problemas diferentes de rutas de vehículos, que son los que sirven de problemas base, para establecer a continuación las comparaciones de los resultados base con los obtenidos al incluir las medidas de seguridad y medioambientales en dichos problemas.

5. Resultados

En este apartado, vamos a mostrar los resultados obtenidos de la aplicación de los algoritmos

seleccionados en el apartado anterior a la ruta base considerada, incluyendo los costes medioambientales (ruido y emisiones contaminantes) y de seguridad.

En la Tabla 10, se presenta el efecto económico de la inclusión de medidas adicionales de seguridad para los dos tipos de algoritmos seleccionados.

Tabla 10: Incremento medio de costes debido a la aplicación de las medidas de seguridad adicionales con respecto a los problemas base.

Indicador	Incremento medio debido a la aplicación de las medidas de seguridad adicionales	
	Algoritmo de Clarke y Wright	Algoritmo de Mole y Jameson
Coste total	6,29 %	4,77%
€/ kg	5,46 %	4,72%
€/ km	0,52 %	-0,11%
€/ camión	2,80 %	3,80%

Nota: Los valores medios se corresponden con medias recortadas al 5%.

Fuente: *Elaboración propia (ETMOL, Pintor et al., 2005)*

Analizando los resultados obtenidos podemos concluir que la inclusión de medidas de seguridad en la operativa diaria de las empresas de transporte, incrementa en torno a un 5,5% los costes de la actividad. Por otro lado, la consideración de dichas medidas de seguridad se ha estimado que suponen un descenso de un 3% en el absentismo laboral. Asimismo, habría que considerar una serie de efectos positivos adicionales, de difícil cuantificación, como una mayor motivación de los trabajadores, mejores relaciones laborales y un incremento de la satisfacción en el puesto de trabajo.

En cuanto al cálculo de los costes debidos a las externalidades medioambientales, las Tablas 11 y 12 recogen la estimación por tipo de algoritmo utilizado y en función de si se incluyen conjuntamente medidas de seguridad. De promedio, la inclusión de los costes medioambientales asociados al ruido y a las emisiones contaminantes supone un incremento del 29,5% de los costes

de transporte. Si se realiza la inclusión conjunta de medidas de seguridad, el coste se incrementa un promedio de 26,5%.

Tabla 11: Incremento promedio de costes debido a externalidades medioambientales obtenidos en el algoritmo de Clarke y Wright con respecto a los problemas base

Indicador	Incremento medio debido a la inclusión de los costes por externalidades medioambientales	
	Sin aplicar las medidas de seguridad adicionales	Aplicando las medidas de seguridad adicionales
Coste total	29,84 %	25,98 %

Fuente: Elaboración propia (ETMOL, Pintor et al., 2005)

Tabla 12: Incremento promedio de costes debido a externalidades medioambientales obtenidos en el algoritmo de Mole y Jameson con respecto a los problemas base

Indicador	Incremento medio debido la inclusión de los costes por externalidades medioambientales	
	Sin aplicar las medidas de seguridad adicionales	Aplicando las medidas de seguridad adicionales
Coste total	29,12 %	26,99 %

Fuente: Elaboración propia (ETMOL, Pintor et al., 2005)

6. Conclusiones

En la última década, se ha hecho patente una gran preocupación por los efectos externos negativos medioambientales generados por el transporte por carretera. Recientemente, en el seno de la UE, se han introducido iniciativas pioneras de tarificación de infraestructuras. Asimismo, se ha planteado la creación de un modelo general para la valoración de los costes externos medioambientales con la finalidad de aplicar con criterios homogéneos unas tarifas por el uso de las vías de transporte.

La inclusión de tarifas medioambientales en el transporte por carretera puede generar importantes efectos económicos sobre la actividad de las empresas logísticas y de transporte. Asimismo, se pueden producir efectos distorsionantes sobre el los flujos comerciales internacionales.

El objetivo de este trabajo ha sido cuantificar el efecto económico de los costes medioambientales asociados al ruido y las emisiones contaminantes, y de la inclusión de determinadas medidas de

seguridad. De este modo, se pretende estimar de manera aproximada el valor de las hipotéticas tarifas medioambientales que permitan compensar los efectos negativos del transporte de mercancías por carretera. Para ello, se ha elegido un problema de transporte típico y seleccionado los algoritmos óptimos para la resolución de este problema. En total, se han resuelto 10 casos diferentes con los algoritmos de Clarke-Wright y Mole-Jameson.

Desde el punto de vista metodológico, se puede concluir que la gestión de rutas a través de programas DSS (“Decision Support System”) integrados en un ERP (“Enterprise Resource Planning”) de las empresas o de los operadores logísticos, puede realizarse teniendo también en cuenta los aspectos de seguridad y los medioambientales. Desde el punto de vista de la complejidad algorítmica, no aparece ningún problema sustancial.

Desde el punto de vista de la importancia de los costes medioambientales y de seguridad asociados al transporte de mercancías por carretera, cabe señalar algunas conclusiones relevantes. En primer lugar, la adopción de medidas adicionales de seguridad que permitan reducir la accidentabilidad y mejorar el absentismo supone de media un incremento de los costes de transporte del 5,5%, según el problema de transporte planteado. A la vista de este resultado, cabe señalar que dichas medidas no suponen un coste significativo y sus efectos sobre el precio de los productos comercializados sería poco relevante. Además, dicho incremento de costes pudiera ser compensado por la reducción de las tasas de absentismo, pudiendo ser asumidos directamente por las empresas logísticas y de transporte.

En segundo lugar, los costes medioambientales asociados al ruido y las emisiones contaminantes suponen un incremento promedio de un 28% de los costes de transporte. Este resultado permite

afirmar la relevancia económica que tienen los costes medioambientales en la actividad de transporte de mercancías por carretera, muy superiores a los asociados a la seguridad.

Si en España se asume la necesidad de internalizar por los operadores logísticos mediante una política tarifaria los costes medioambientales asociados al transporte por carretera, esta subida del 28% tendría un efecto inmediato en la estructura de costes de las empresas afectadas, que tratarían de trasladarse inmediatamente a sus clientes y proveedores, y en definitiva al consumidor final. Esta medida lógicamente tendría significativas repercusiones sobre la competitividad de las empresas, generando importantes distorsiones sobre los flujos comerciales (desviación de comercio, etc.) y sobre las decisiones de localización industrial, fomentando la regionalización de los flujos comerciales. Por tanto, los costes medioambientales en el transporte no pueden ser asumidos por las empresas de manera directa e inmediata, sin generar importantes distorsiones económicas.

En consecuencia, toda política de tarificación basada en los costes medioambientales debe realizarse de manera consensuada a nivel europeo para reducir al mínimo las distorsiones sobre el comercio. Asimismo, dada la cuantía de los costes medioambientales, debe desarrollarse una actuación pública que pueda combinar medidas de apoyo económico junto con la implementación de acciones de I+D encaminadas a la reducción de las emisiones contaminantes y el ruido mediante mejoras técnicas de los vehículos, de los neumáticos, desarrollo de nuevos combustibles, etc.

Finalmente, desde el punto de vista de la política de transporte, la consideración del impacto medioambiental del transporte de mercancías por carretera puede justificar la implementación de políticas de fomento de otras modalidades de transporte menos contaminantes, como el ferrocarril o el barco, así como un impulso de la intermodalidad. No obstante, conviene advertir que el estudio

no contempla los costes económicos ni medioambientales asociados al desarrollo y gestión de las infraestructuras necesarias, más elevados por ejemplo en el transporte de mercancías por ferrocarril. Otras limitaciones de este trabajo son la no inclusión de diversas externalidades negativas como la congestión o los impactos específicos del transporte en vías y entornos urbanos. No obstante, la validez de sus resultados principales queda salvaguardada. Finalmente, dentro de las líneas de investigación futura queda pendiente la planificación de rutas *on-line* con las restricciones medioambientales y de seguridad anteriormente descritas. De igual modo, la integración de estas herramientas de planificación *on-line* en la gestión de rutas, permitirá integrar las decisiones logísticas de transporte con otro tipo de información empresarial de las empresas a través de un ERP.

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda recibida por el Ministerio de Fomento para la realización del proyecto de investigación “Efectos económicos y de seguridad de vehículos en el transporte de mercancías de operadores logísticos”. Queremos agradecer la ayuda de D. Pedro Tena López, del Ministerio de Fomento, por su ayuda y consejos para la realización del proyecto de investigación. También transmitimos nuestro agradecimiento al Prof. D. Antonio Gómez Gómez-Plana, de la Universidad Pública de Navarra, por sus oportunos comentarios.

Referencias

BOWEN, H.P. y HOLLANDER, A., VIAENE, JM. (2001): *Applied international trade analysis*, The University of Michigan Press.

- CLARKE, G. y WRIGHT, J.W. (1964): "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points" *Operations Research* nº 12, pp. 568-581.
- COMISIÓN EUROPEA (1998a): *Política común de transportes. Movilidad sostenible: perspectivas*. COM (1998) 716 final, Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA (1998b): *Tarifas justas por el uso de infraestructuras: Estrategia gradual para un marco común de tarificación de infraestructuras del transporte en la Unión Europea. Libro Blanco*. COM (1998) 466 final, Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA (2001): *La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad. Libro Blanco*. COM (2001) 535 final, Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA (2004): *Evaluación y gestión del ruido ambiental*. COM (2004). 160 final, Bruselas.
- COMISIÓN EUROPEA (2005): *Prevención y control integrados de la contaminación*. COM (2005) 540 final, Bruselas.
- CONFERENCIA EUROPEA DE MINISTROS DE TRANSPORTE (1998): *Resolution No. 98/1 on the Policy Approach to Internalising the External Costs of Transport*, 26-27 de mayo de 1998, Copenhague.
- DELUCCHI, M. y HSU, S. (1998): "The External Damage Cost of Noise Emitted from Motor Vehicles", *Journal of Transportation and Statistics*, vol. 1, nº 3, pp. 1-24.
- DELUCCHI, M.A. (2004): *Summary of the Nonmonetary Externalities of Motor-Vehicle Use*. Report 9 in the series: The Annualized Social Cost of Motor-Vehicle Use in the United States, based on 1990-1991 data, Institute of Transportation Studies.
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO (2005): *Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2004*, Madrid.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2002): *Indicator Fact Sheet/Term 2002 25 EU- External costs for transport*, Bruselas.
- FISHER, M. (1995), "Vehicle routing", in: *Handbooks in Operations Research and Management Science: Network Routing*, Vol. 8. (Edited by Ball, M., Magnanti, T., Monma, C. and Nemhauser, G.), North-Holland, Amsterdam.

- FLORES, M.A., TORRAS, S. y TÉLLEZ, R. (2004): *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso IV, Veracruz, Safandilla (México)*, IMT.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2004): *Lesiones profesionales en Navarra 2001. Accidentes de trabajo y lesiones profesionales*, Pamplona.
- GOBIERNO VASCO (2005): *Costes Externos del Transporte en al Comunidad Autónoma del País Vasco*, Serie Programa Marco Ambiental, MUGIKOST'05, num. 44, abril, 2005.
- INFRAS/IWW (1995): *External Effects of Transport*, Zurich, Infrac.
- INFRAS/IWW (2004): *External Costs of Transport. Update study*, Zurich, Infrac.
- MINISTERIO DE ECONOMÍA Y HACIENDA (1997): *La negociación colectiva en las grandes empresas en 1995*, Madrid, Dirección General de Política Económica y Defensa de la Competencia.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2002): *Observatorio de costes de transporte de mercancías por carretera*, Madrid, Dirección General de Transportes por Carretera.
- MOLE, R.H. y JAMESON, S.R. (1976): "A Sequential Route-building Algorithm Employing a Generalised Savings Criterion", *Operational Research Quarterly*, Vol. 27, pp. 503-511.
- OCDE (2002): *Policy Instrument for Achieving Environmentally Sustainable Transport*, Paris.
- OCDE (2003): *External Cost of Transport in Central and Eastern Europe*, ENV/EPOC/WPNEP/T(2002)5/FINAL.
- OMS (1999): *Guideliness for community noise*, Ginebra. Disponible en <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. (último acceso: 15 Febrero 2006)
- PARLAMENTO EUROPEO (2004): Informe de la primera lectura de la propuesta de revisión de la Directiva 1999/62, 20.04.2004, Bruselas.
- PINILLA, F.J., BORDAS, J., GETE, P., NOVA, P. y SANZ, J. (2000): *La salud laboral en el sector del transporte por carretera*, Madrid, Labour.
- PINTOR, J.M., FAULIN, J., LERA, F., GARCIA, J., SAN MIGUEL, J. y UBEDA, S. (2005): *Efectos económicos y de seguridad de vehículos en el transporte de mercancías de operadores logísticos*, ETMOL2005, Madrid, Ministerio de Fomento.
- QUINET, E. (1993): *Internalising the Social Costs of Transport*, Chapter 2, The Social Costs of

- Transport: Evaluation and Links with Internalisation Policies, OECD and ECMT.
- QUINET, E. (2004): "A meta-analysis of Western European external costs estimates", *Transportation Research, Part D*, vol. 9, pp. 465-476.
- SANSOM, S., NASH, C., MACKIE, P., SHIRES, J., y WATKISS, P. (2001): *Surface Transport Costs and Charges: Great Britain 1998*, Leeds, University of Leeds.
- SCA (2000): *Heavy Vehicle Fee*, 2ª edición, Zurich, SCA.
- TOTH, P. y VIGO, D. (2002): *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia, SIAM Monograph on Discrete Mathematics and Applications.
- BETANCOR, O. y NOMBELA, G. (2003): *The pilot account for Spain*, Competitive and sustainable growth programme, UNITE, Universidad de Las Palmas y University of Leeds.
- BOSSEN, M. VAN DEN, CERTAN, C., VELDMAN, S., NASH, C., JOHNSON, D., RICCI, A. y ENEI, R. (2003): *Guidance on adapting marginal cost estimations*, Competitive and sustainable growth programme, UNITE, University of Leeds.
- VERHOEF, E. (1994): "External Effects and Social Costs of Road Transport", *Transportation Research A*, vol. 28A, pp. 273-287.
- VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (2003): *Transportation Cost and Benefit Analysis*. Disponible en <http://www.vtpi.org/documents/transportation.php> (último acceso: 15 Febrero 2006).