



XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA

Perspectivas económicas alternativas

Valladolid, 4 y 5 de septiembre de 2014

Intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera de vehículos pesados. España. 1996-2010.

Lidia Andrés y Emilio Padilla

Universidad Autónoma de Barcelona

INTENSIDAD ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA DE VEHÍCULOS PESADOS. ESPAÑA. 1996-2010

Lidia Andrés y Emilio Padilla

Departamento de Economía Aplicada. UAB. Campus de Bellaterra, 08193 Cerdanyola del Vallès, España. Tel.: +34 93 581 1276. E-mails: lidia.andres@uab.es; emilio.padilla@uab.es

Resumen

Esta investigación estudia los factores que han influido en la evolución de la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera de los vehículos pesados en España entre los años 1996 y 2010. Para el análisis se emplea el método de descomposición paramétrico LMDI-II en su versión multiplicativa tanto anual como acumulativa. Los resultados apuntan a que la disminución de la intensidad energética del transporte español de mercancías por carretera para el período analizado se explica por el efecto intensidad (menor consumo de energía por tonelada-kilómetro transportada), compensado parcialmente por el efecto estructura (mayor peso del transporte de mercancías más intensivo en uso de energía). El artículo profundiza en el conocimiento de esta evolución cuantificando la contribución del transporte de los diferentes grupos de mercancías a ambos efectos mediante la atribución de los cambios en el índice Divisia.

Palabras clave: intensidad energética, transporte de mercancías por carretera, LMDI, descomposición del índice Divisia.

Clasificación JEL: C69, L92, Q49, Q59

1. Introducción

En las últimas décadas ha habido una preocupación creciente por conseguir un uso más eficiente de la energía (IEA 1997). El interés de una mayor eficiencia energética no sólo radica en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del consumo de combustible, sino también en factores como la menor dependencia energética o el ahorro en los costes energéticos. Profundizar en el estudio de los determinantes de la evolución del consumo de la energía es relevante, pues, para facilitar la puesta en marcha de políticas que favorezcan el ahorro y un uso energético más eficiente.

Entre 1996 y 2010 las emisiones de gases de efecto invernadero en España han mostrado un comportamiento diferenciado al del resto de países de su entorno, al aumentar un 14,3% frente a la reducción de un 11,1% en la UE-28 (emisiones de CO₂ equivalente de los seis gases contemplados por el protocolo de Kioto)(Eurostat 2013). Uno de los sectores que más ha contribuido a esta evolución negativa ha sido el sector del transporte, cuyas emisiones han crecido un 30,8% durante el periodo, siendo responsable en el año 2010 del 26,4% del total –de las cuales un 91,6% corresponde al transporte por carretera. La tendencia ascendente de las emisiones en el sector del transporte español se explica por un ascenso en su consumo energético de un 33,7% en el periodo, alcanzando en 2010 un 41,8% del consumo total de energía final (Eurostat 2013). Estos resultados muestran que, entre los años 1996 y 2010, el sector del transporte español no ha sido capaz de revertir la trayectoria creciente, en cuanto a consumo energético, que ya mostraba desde la década de los 70s (Stead 2001), de lo que se deriva la dificultad de reducir el crecimiento de sus emisiones.

Numerosas investigaciones han analizado la participación del sector transporte en el consumo de energía final y/o en el de las emisiones relacionadas. Una parte de esta literatura fundamenta el análisis en los modelos descriptivos IPAT. Basándose en dichos modelos, la Agencia Internacional de la Energía ha desarrollado la ecuación ASIF (IEA 1997) con el fin de investigar el impacto de las emisiones de cualquier tipo de contaminante en el sector del transporte. Siguiendo esta línea, dos actividades diferenciadas se distinguen: el transporte de viajeros y el de mercancías. Cabe añadir que el análisis de ambas actividades va acompañado, en ocasiones, de un análisis de descomposición paramétrico, utilizando desde los métodos más tradicionales como el Laspeyres (Millard-Ball y Schipper 2010), hasta otros más recientes y mejorados, como el índice de media logarítmica Divisia (LMDI) (Sorrell et al. 2009 y 2012).

En el caso del transporte de viajeros cabe destacar las contribuciones de Schipper (2011) que estudia las pautas de comportamiento en el uso del automóvil y el consumo de combustible en los países industrializados entre 1970 y 2010 y determina los factores que permitirían la reducción de las emisiones relacionadas; Millard-Ball y Schipper (2010) que consideran la evolución experimentada por el consumo energético del transporte de viajeros entre 1973 y 2007 en ocho países industrializados; o Eorn y Schipper (2010) que investigan la tendencia experimentada por el consumo energético en el transporte de viajeros de Corea del Sur entre 1986 y 2007.

En el caso particular del transporte de mercancías por carretera cabe destacar, entre otros, los trabajos de McKinnon y Piecyk (2009) que examinan diferentes fuentes y métodos de medición de emisiones de dióxido de carbono para el caso del transporte de mercancías por carretera de vehículos pesados en el Reino Unido; Kamakaté y Schipper (2009) que estudian el uso energético del transporte de mercancías por carretera para Australia, Francia, Japón, Estados Unidos y el Reino Unido entre 1973 y 2005; Vanek y Campbell (1999) que exploran la tendencia del consumo energético y de la intensidad energética del transporte por carretera de 14 grupos de mercancías entre los años 1985 y 1995 en el Reino Unido; Vanek y Morlok (2000) que investigan la evolución del consumo energético en el transporte de mercancías desagregado por mercancías y por modo de transporte en Estados Unidos; y Sorrell et al. (2009 y 2012) quienes indagan sobre los factores conducentes al lento crecimiento del consumo energético del transporte de mercancías por carretera para el caso del Reino Unido entre los años 1989 y 2004.

En cuanto a la literatura que analiza el consumo energético y las emisiones relacionadas del subsector del transporte en España, cabe apuntar los trabajos de Mendiluce y Schipper (2011) que analizan la tendencia experimentada por el consumo energético y las emisiones relacionadas del sector del transporte español diferenciando entre viajeros y mercancías y modos de transporte entre los años 1990 y 2008; Pérez Martínez (2009) revisa determinados indicadores de eficiencia y comportamiento en el transporte de mercancías por carretera para el caso español entre los años 1997 y 2003; Pérez Martínez (2010) investiga el transporte de mercancías, su consumo energético y las emisiones relacionadas para el periodo 1990-2008 y realiza previsiones para el año 2025; finalmente, Pérez Martínez y Monzón de Cáceres (2008) comparan la evolución de los indicadores del sector de transporte español —consumo energético y emisiones de CO₂— con el resto de los países de la Unión Europea para el periodo 1988-2006.

A diferencia de los artículos citados anteriormente, el objetivo de esta investigación se centra en el estudio de la intensidad energética del transporte de mercancías, su evolución y los factores que la determinan; desagregando el análisis, además, por mercancías. Este análisis profundiza en la comprensión de uno de los componentes del consumo energético, la intensidad energética, variable que no ha sido examinada en detalle con anterioridad para el caso del transporte de mercancías, pero clave para lograr un consumo energético más eficiente de la actividad. Se complementa, así, los estudios que sobre consumo energético en el transporte de mercancías se han realizado hasta el momento. La investigación, aplicada al transporte de mercancías por carretera de los vehículos pesados en España entre los años 1996 y 2010, utiliza la metodología ASIF y se completa, además, con el método de descomposición paramétrico LMDI-II en su forma multiplicativa tanto anual como acumulativa, que determina la importancia de los efectos intensidad y estructura en la trayectoria de la intensidad energética. Asimismo, con el objetivo de ahondar en los resultados obtenidos en el análisis de descomposición, se aplica una extensión del mismo, la atribución de los cambios en el índice Divisia, metodología novedosa que permite, aplicada a este caso, cuantificar la participación de los diferentes grupos de mercancías en la evolución de los efectos considerados. Se trata, precisamente, de detectar el grado en que cada

grupo de mercancías ha contribuido a la evolución de la intensidad energética medida como energía consumida por tonelada-kilómetro transportada —efecto intensidad—, y de analizar cómo el cambio relativo en la estructura del transporte de los diferentes tipos de mercancías afecta asimismo a la evolución de la misma —efecto estructura—. Este artículo pretende contribuir, así, a un mayor conocimiento de los factores explicativos de la evolución experimentada por la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera, que posibilite el diseño de medidas que permitan alcanzar una mayor eficiencia energética en esta actividad.

En el siguiente apartado se presenta la base de datos y la metodología utilizada. En el tercero, se analiza la intensidad energética agregada y por mercancías y su evolución en el período considerado. En el cuarto, se analizan los resultados obtenidos en el análisis de descomposición ampliado. Finalmente, el último apartado recoge las principales conclusiones del trabajo.

2. Datos y metodología

2.1. Datos

La base de datos utilizada es la de la *Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera* (EPTMC) realizada por el Ministerio de Fomento (1996-2010). Esta encuesta es de carácter continuo y tiene como objetivo principal investigar las operaciones de transporte de los vehículos pesados españoles y medir, así, el grado de actividad del sector. La población objeto de estudio está formada por el conjunto de cabezas tractoras y por los vehículos rígidos o camiones con capacidad de carga útil superior a 3,5 toneladas y con un peso máximo autorizado superior a 6 toneladas, matriculados en España. Se investigan todas las operaciones realizadas por estos vehículos tanto en territorio nacional como en el extranjero. La encuesta recoge información sobre la mercancía transportada —siguiendo la nomenclatura NST/R (nomenclatura uniforme de mercancías para las estadísticas de transporte) desagregada a dos dígitos (véase el Apéndice I) —, el origen, el destino, la distancia de la operación y las características del vehículo (y en su caso del remolque o semirremolque).

Las características técnicas del vehículo que realiza el transporte, el tipo de vehículo y el peso máximo autorizado han permitido definir, tal como se describe en el Cuadro 1, diferentes tipos de vehículos. Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se asigna a cada tipo de vehículo un consumo medio de combustible por kilómetro recorrido. La asignación del consumo de combustible se lleva a cabo, por una parte, teniendo en cuenta las pautas que el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE) ofrece en su *Guía para la gestión del combustible en las flotas del transporte por carretera* (2006), pues se publican estándares generales de referencia de consumos de los diferentes vehículos de flota y, por otra parte, los consumos medios de combustible por vehículo publicados en el *Observatorio del mercado del transporte de mercancías por carretera* (OMTMC 2010) monográfico del *Ministerio de Fomento*. Asimismo, se ha comprobado que los consumos

medios anuales resultantes tras la asignación se corresponden con los publicados por el IDAE en su *Informe anual de indicadores energéticos* (2011), donde se recogen los consumos específicos medios del sector del transporte para diferentes tipos de vehículos, incluidos los vehículos pesados.

Cuadro 1. Tipos de vehículo según sus características técnicas

Ejes	PMA (toneladas)
Rígido	≤ 7,5 ton
	>7,5 ton ≤ 18 ton
	>18 ton
Articulado	≤ 26 ton
	>26 ton ≤ 40 ton
	>40 ton

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006)

Cabe señalar que hasta el año 2002 en la EPTMC estaban excluidas las operaciones realizadas dentro de un mismo término municipal. Por este motivo, y con el fin de obtener una serie de datos homogénea, el presente análisis únicamente recoge las operaciones de transporte intermunicipales, que representan en el peor de los casos un 97,1% del total de toneladas-kilómetro de mercancías transportadas por carretera (Cuadro 2) en el periodo considerado.

Cuadro 2. Representatividad del transporte intermunicipal por carretera de los vehículos pesados en España. 2002-2012

	Millones Tn-Km	Intermunicipal
2002	184.545	97,3%
2003	192.587	97,1%
2004	220.816	97,2%
2005	233.219	97,5%
2006	241.758	97,5%
2007	258.870	98,0%
2008	242.978	98,2%
2009	211.891	98,5%
2010	210.064	98,8%
2011	206.840	98,9%
2012	199.205	99,2%

Fuente: EPTMC, Ministerio de Fomento (1996-2010)

Los datos necesarios para llevar a cabo la descomposición de la intensidad energética del transporte por carretera de mercancías son los datos de consumo energético y actividad para todos los años del período a analizar. Esto es, desde 1996 hasta 2010, y éstos desagregados por mercancías. La EPTMC proporciona directamente datos sobre la actividad del transporte por tipo de mercancía, mientras que los datos de consumo energético en el

transporte por tipo de mercancía deben ser estimados. La metodología utilizada se presenta en el siguiente subapartado.

2.2. Metodología

2.2.1. Metodología ASIF

La metodología ASIF, desarrollada por la Agencia Internacional de la Energía (IEA 1997), analiza el impacto de las emisiones de cualquier tipo de contaminante en el sector del transporte, de manera que:

$$G = \sum A S_i I_i \sum F_{i,j} \quad (1)$$

donde G es la emisión de un determinado contaminante, A es la actividad total del sector del transporte, S_i indica la participación de los diferentes modos de transporte i respecto a la actividad total, I_i es la intensidad energética del modo de transporte i y $F_{i,j}$ es el tipo de combustible j utilizado por el modo de transporte i. Debe considerarse que este análisis sólo tiene en cuenta cuál es el uso final de energía directa requerido para el transporte de mercancías, y no tiene en cuenta el consumo energético indirecto¹.

Generalmente, los estudios (por ejemplo, Vaneck y Morlock (2000) y Millard-Ball y Schipper (2010)) que se centran en el uso de la energía (E), y no en las emisiones de gases efecto invernadero, analizan los tres primeros componentes e ignoran el consumo de los distintos tipos de combustible. De manera que la ecuación queda como sigue:

$$E = \sum A S_i I_i \quad (2)$$

En esta investigación, cuyo objetivo es analizar la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera, el modo de transporte no es la variable empleada para desagregar el análisis. En nuestro caso, la desagregación se lleva a cabo por mercancía (c). Así, la estimación a realizar sería como sigue, utilizando nuestra propia terminología:

$$E = \sum TKM S_c I_c \quad (3)$$

Donde E es el consumo energético realizado en el transporte de mercancías por carretera; TKM es la actividad total del sector del transporte de mercancías medida en toneladas-kilómetro; S_c indica la participación relativa del transporte de cada mercancía en el conjunto de la actividad; I_c es la intensidad energética en el transporte de la mercancía c.

La estimación en el año t del consumo energético en el transporte de la mercancía c (E_{ct}) se calcula como sigue:

$$E_{ct} = \sum_k E_{ckt} = \sum_k VKM_{ckt} AF_{ckt} e \quad (4)$$

¹ Entendido como el consumo de energía necesario en la fabricación de los vehículos, de las infraestructuras y su mantenimiento, y el reciclaje y desmantelamiento de los mismos una vez finalizada su vida útil, así como la energía utilizada en la obtención del combustible (extracción, refinado y distribución).

Donde VKM_{ckt} es el número de kilómetros anuales recorridos por el tipo de vehículo k en el año t transportando la mercancía c ; AF_{ckt} es el consumo de combustible medio anual por kilómetro recorrido realizado por el tipo de vehículo k en el año t transportando la mercancía c ²; e es el factor de conversión —combustible/energía— proporcionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010).

Cabe decir que la EPTMC proporciona directamente VKM_{ckt} , sin embargo, existe un problema puesto que la desagregación de la actividad por mercancías incluye la actividad del vehículo en vacío como otra “mercancía” más, por tanto no hay información sobre cómo se corresponden los desplazamientos del vehículo en vacío con el transporte de las diferentes mercancías. Dado que sobre cada vehículo existe registro de la distancia recorrida en las operaciones en carga y en vacío, se ha optado por asignar la distancia recorrida en los desplazamientos en vacío proporcionalmente a la distancia recorrida por el vehículo al transportar las diferentes mercancías.

2.2.2 La metodología de descomposición M-LMDI-II en los efectos intensidad y estructura

El análisis de descomposición de índices (IDA, por sus iniciales en inglés) tiene como objetivo desagregar la variable a analizar en diferentes factores explicativos. En el caso del consumo energético, la descomposición recogería tres efectos: escala, estructura e intensidad. Con el fin de estudiar el impacto del cambio estructural en el sector español de transporte de mercancías por carretera, en esta investigación se procede a aplicar el método de descomposición M-LMDI-II³ a la intensidad energética en lugar de al consumo energético. Aunque el análisis de este último es relevante, la intensidad energética resulta ser la variable más adecuada de estudio, pues al centrar el análisis en ésta y no en el consumo energético, se evita el problema que aparece al estudiar un período de análisis amplio con una tasa de crecimiento de la actividad elevada: el efecto escala estimado tiende a ser muy significativo y muy superior al resto de efectos (Ang 1994).

En el caso de la intensidad energética, la descomposición comprende dos efectos: el efecto estructura (SE), que proporciona una medida de cambio en la intensidad energética debido a la variación relativa del peso de las mercancías más intensivas energéticamente en su transporte, y el efecto intensidad, (IE), como indicador de la variación de la intensidad energética debida a la variación de la eficiencia energética aparente de los vehículos de transporte por carretera de mercancías —medida como consumo energético por tonelada-kilómetro—, variación que puede deberse a un cambio en el consumo de combustible por tonelada-kilómetro, al tráfico, a las condiciones de conducción, o al estado de las carreteras, entre otros factores.

² La asignación de consumo de combustible por kilómetro recorrido por el tipo de vehículo k en el año t en el transporte de la mercancía c se describe en el apartado 2.1.

³ A pesar de que en la mayoría de los estudios IDA se utiliza el método M-LMDI-I en lugar del M-LMDI-II, al no ser el primero una genuina media geométrica —condición para la aplicación de la atribución de los cambios en el índice Divisia— se ha optado por presentar en esta investigación el M-LMDII. Sin embargo, se ha comprobado que los resultados obtenidos con el M-LMDI-I son prácticamente idénticos a los aquí obtenidos.

Siguiendo el análisis IDA, la intensidad energética agregada en el año t puede expresarse de la siguiente manera:

$$I_t = \sum_t S_{ct} I_{ct} \quad (5)$$

con:

$$S_{ct} = \frac{TKM_{ct}}{TKM_t} \quad y \quad I_{ct} = \frac{E_{ct}}{TKM_{ct}}$$

donde E_{ct} se corresponde con el consumo energético realizado en el transporte de la mercancía c en el año t; TKM_{ct} es el indicador de actividad y recoge el total de toneladas-kilómetro transportadas de la mercancía c en el año t; S_{ct} indica la participación relativa del transporte de la mercancía c en el total de la actividad en el año t; I_{ct} define la intensidad energética en el transporte de la mercancía c en el año t como la energía consumida durante el año t al ser transportada una tonelada de la misma a lo largo de un kilómetro.

El método aplicado en esta investigación se corresponde con el índice de media logarítmica Divisia en su forma multiplicativa (M-LMDI). La elección del método LMDI se explica porque satisface una serie de condiciones que lo señalan como un método de descomposición superior a otros métodos paramétricos (Ang 2004). En primer lugar, es un método de descomposición perfecta, es decir, no aparecen términos residuales en los resultados, por lo que aprueba el test del criterio de reversibilidad. En segundo lugar, cuando los datos contienen el valor 0 funciona correctamente si se sustituye éste por un valor muy pequeño, por tanto, muestra robustez en el valor 0. En tercer lugar, aprueba el test del criterio de reversibilidad en el tiempo, o sea, que los resultados son idénticos si la descomposición se realiza hacia delante o hacia atrás en el tiempo. En cuarto lugar, supera el test de agregación, lo que significa que es consistente la agregación de los resultados de la descomposición realizada por subgrupos, independientemente de cómo éstos hayan sido definidos. En quinto lugar, la sencillez en su aplicación e interpretación de los resultados. En sexto lugar, su adaptabilidad. Asimismo, la no existencia de datos negativos en la base de datos del análisis no hace necesaria la utilización de métodos alternativos relacionados con el índice de Laspeyres. Finalmente, cabe decir que los resultados obtenidos en la versión multiplicativa de este método están vinculados con los obtenidos en la versión aditiva a través de una fórmula sencilla, de manera que puede derivarse el efecto estimado en la descomposición aditiva a través del mismo efecto estimado en la descomposición multiplicativa y a la inversa. Para una información más detallada de las propiedades de los diferentes métodos de descomposición véase, por ejemplo, Ang y Zhang (2000), Lenzen (2006) y Ang y Liu (2007).

La *descomposición anual* de la intensidad energética en su forma multiplicativa muestra el cambio en la intensidad energética (5) para dos años consecutivos como $\frac{I_t}{I_{t-1}}$, descomponiéndose la misma a su vez en los efectos intensidad y estructura:

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \frac{SE_t}{SE_{t-1}} \quad (6)$$

En el caso del M-LMDI-II, la forma que adopta cada uno de los efectos respectivamente sigue la siguiente fórmula:

$$\frac{IE_t}{IE_{t-1}} \equiv \exp\left(\sum_{c=1}^n w_c \ln \frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}}\right) \quad (7)$$

$$\frac{SE_t}{SE_{t-1}} \equiv \exp\left(\sum_{c=1}^n w_c \ln \frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}}\right) \quad (8)$$

con:

$$w_c = \frac{L\left(\frac{E_{c,t}}{E_t}, \frac{E_{c,t-1}}{E_{t-1}}\right)}{\sum_{c=1}^n L\left(\frac{E_{c,t}}{E_t}, \frac{E_{c,t-1}}{E_{t-1}}\right)} \quad y \quad L(a, b) = \begin{cases} \frac{(a-b)}{(\ln a - \ln b)}, & a \neq b \\ a, & a = b \end{cases}$$

Donde L (a, b) es la media logarítmica entre a y b

Para el caso de la *descomposición acumulativa* en su forma multiplicativa, el método Divisia describe el cambio en la intensidad energética como:

$$\frac{I_T}{I_0} = \prod_{t=1}^T \frac{I_t}{I_{t-1}} = \prod_{t=1}^T \left(\frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \frac{SE_t}{SE_{t-1}}\right) = \prod_{t=1}^T \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \times \prod_{t=1}^T \frac{SE_t}{SE_{t-1}} = \frac{IE_T}{IE_0} \times \frac{SE_T}{SE_0} \quad (9)$$

donde el lado derecho de la expresión (9) es el producto acumulado entre los años 0 y T de los efectos intensidad y estructura entre dos años consecutivos (t-1,t), tal que:

$$\frac{IE_T}{IE_0} = \prod_{t=1}^T \frac{IE_t}{IE_{t-1}} \quad (10)$$

$$\frac{SE_T}{SE_0} = \prod_{t=1}^T \frac{SE_t}{SE_{t-1}} \quad (11)$$

2.2.3 La atribución de los cambios en los efectos intensidad y estructura (medidos con el índice Divisia) a los distintos grupos de mercancías

La metodología descrita en Choi y Ang (2012) consiste en atribuir los cambios experimentados por el efecto intensidad medido con el índice Divisia a las diferentes fuentes asociadas a dichos cambios. La aplicación de esta metodología no tan sólo al efecto intensidad sino también al efecto estructura permite obtener, en este caso, un análisis más detallado de la contribución del transporte de los diferentes grupos de mercancías en la evolución de los dos efectos, determinantes ambos de la evolución de la intensidad energética.

El procedimiento a aplicar, basado en la transformación de un índice de media geométrica, como es el caso del M-LMDI-II en un índice de media aritmética, se presenta a continuación tanto en el caso de descomposición anual como en el caso de descomposición acumulativa. En el caso de la *descomposición anual* la fórmula a emplear es como sigue para los efectos intensidad y estructura:

$$\frac{IE_t}{IE_{t-1}} - 1 = \sum_{c=1}^n S_c^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1\right) \quad (12)$$

$$\frac{SE_t}{SE_{t-1}} - 1 = \sum_{c=1}^n s_c^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (13)$$

donde $s_c^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right)$ y $s_c^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right)$ se corresponden con la contribución del transporte de la mercancía c en el cambio experimentado por el efecto intensidad y por el efecto estructura respectivamente entre los años $t-1$ y t definida s_c en cada caso tal que:

$$s_c^I = \frac{\frac{w_c}{L(I_{c,t}, I_{c,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_k}{L(I_{k,t}, I_{k,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{k,t-1}} \quad (14)$$

y

$$s_c^S = \frac{\frac{w_c}{L(S_{c,t}, S_{c,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_k}{L(S_{k,t}, S_{k,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{k,t-1}} \quad (15)$$

Para el caso de la *descomposición acumulativa* la fórmula para conseguir la desagregación de los efectos intensidad y estructura sería:

$$\frac{IE_T}{IE_0} - 1 = \sum_{c=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{IE_{t-1}}{IE_0} s_{c,t-1,t}^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (16)$$

$$\frac{SE_T}{SE_0} - 1 = \sum_{c=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{SE_{t-1}}{SE_0} s_{c,t-1,t}^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right) \quad (17)$$

La ecuación (16) muestra que el cambio porcentual del efecto intensidad entre los años 0 y T es la suma acumulada de los cambios porcentuales anuales valorados en el año 0 a través de IE_{t-1}/IE_0 . Donde, $s_{c,t-1,t}^I$ se define de la siguiente manera:

$$s_{c,t-1,t}^I = \frac{\frac{w_{c,t-1,t}}{L(I_{c,t}, I_{c,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_{k,t-1,t}}{L(I_{k,t}, I_{k,t-1}, \frac{IE_t}{IE_{t-1}})} I_{k,t-1}} \quad (18)$$

De forma paralela, la ecuación (17) expresa el cambio porcentual del efecto estructura entre los años 0 y T, siendo $s_{c,t-1,t}^S$ tal que:

$$s_{c,t-1,t}^S = \frac{\frac{w_{c,t-1,t}}{L(S_{c,t}, S_{c,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{c,t-1}}{\sum_{k=1}^n \frac{w_{k,t-1,t}}{L(S_{k,t}, S_{k,t-1}, \frac{SE_t}{SE_{t-1}})} S_{k,t-1}} \quad (19)$$

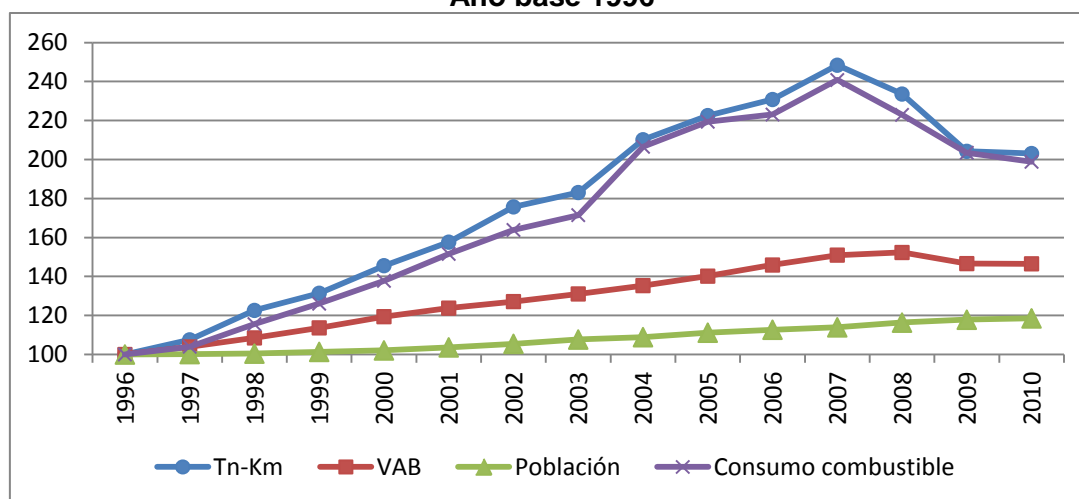
La contribución del transporte de la mercancía c en la variación experimentada por el efecto intensidad entre los años $t-1$ y t se corresponde, por tanto, con el valor $\frac{IE_{t-1}}{IE_0} s_{c,t-1,t}^I \left(\frac{I_{c,t}}{I_{c,t-1}} - 1 \right)$ evaluado en el año 0, mientras que

$\frac{SE_{t-1}}{SE_0} S_{c,t-1,t}^S \left(\frac{S_{c,t}}{S_{c,t-1}} - 1 \right)$ determina la contribución del transporte de la mercancía c en la variación observada del efecto estructura entre $t-1$ y t referida al año 0.

3. Evolución de la intensidad energética

El fuerte aumento del consumo energético en el transporte español de mercancías durante el periodo 1996-2010 se explica, básicamente, por el importante incremento de la actividad medida en millones de toneladas-kilómetro (89,6%). Asimismo, el significativo crecimiento de esta actividad en relación al del conjunto de la economía (46,5%) explica su mayor participación en el consumo de energía final y en las emisiones de dióxido de carbono relacionadas.

Figura 1. Evolución del VAB, de la población, y de la actividad del transporte de mercancías por carretera y de su consumo de combustible. España. Año base 1996



Fuente: elaboración propia. El INE (EPA) proporciona los datos de población y (CNE) los datos del VAB⁴, el Ministerio de Fomento (EPTMC) los datos correspondientes a la actividad del transporte de mercancías por carretera. En 1996, la población era de 39.669 miles de personas, las TKM transportadas ascendían a 102.166 millones, y el VAB a precios constantes de 2008 sumaba un total de 714.138 millones de euros.

En cuanto a la evolución de la actividad del transporte de mercancías cabe señalar que, desde 1996 a 2010, el transporte de mercancías por carretera en España aumentó un 105,6% (102.167 millones de TKM en 1996 frente a 210.064 millones de TKM en 2010), en cambio la alternativa, el ferrocarril, se redujo un 17,0% (11.100 millones de TKM en 1996 a 9.211 millones de TKM en 2010), representando en la actualidad el transporte por carretera un 95,8% de todo el transporte de mercancías⁵.

⁴ Si se tomara como referencia el VAB -agricultura, industria y construcción-, la diferencia en las tasas de crecimiento de la actividad del transporte de mercancías por carretera y el conjunto de la economía se vería incrementada. Por ejemplo, del año 2000 al 2010, la tasa de crecimiento del VAB a precios constantes del conjunto de la economía alcanzó un 23%, al eliminar el sector servicios, la tasa de crecimiento del VAB —agricultura, industria y construcción— es de tan sólo un 4%.

⁵ En España el volumen total de transporte de mercancías por carretera supone un 84%, por ferrocarril un 1% y por mar el 15% en 2007. Datos EUROSTAT, teniendo en cuenta que la participación vía marítima recoge la actividad tanto de carga como de descarga.

En la Figura 1 puede observarse que en 2008 se produce un cambio de tendencia en la actividad del transporte de mercancías por carretera como consecuencia de la crisis económica en España. Ésta incrementó hasta el año 2007 un 153,4% y a partir de ese año hasta el 2010 se redujo en un 18,9%. En este sentido, el consumo energético de la actividad también se vio afectado al aumentar entre los años 1996 y 2010 un 98,8%, cuando hasta el año 2007 el crecimiento había alcanzado el 140,7%.

Por su parte, la intensidad energética de la actividad disminuyó un 2,1% entre 1996 y 2010, al pasar de 1,05 MJ/TKM en 1996 a 1,03 MJ/TKM en 2010. Tal como figura en el cuadro 3 la intensidad energética muestra un comportamiento errático en el tiempo, no estando ligada su evolución ni a la de la actividad ni a la del consumo energético. Así, por ejemplo, en los años de crisis la reducción de la intensidad energética es consecuencia de una mayor caída del consumo energético que de la actividad, a diferencia de lo que ocurría en la etapa de crecimiento económico, cuando ésta se reducía porque el consumo energético aumentaba en menor proporción que la actividad.

Cuadro 3. Evolución anual de actividad, consumo de combustible e intensidad energética del transporte por carretera de mercancías. España 1996-2010

	Actividad	Consumo combustible	Intensidad energética
1997	7,5%	4,0%	-3,3%
1998	14,0%	11,1%	-2,6%
1999	7,2%	9,1%	1,8%
2000	10,8%	9,3%	-1,3%
2001	8,3%	10,0%	1,6%
2002	11,5%	8,7%	-2,5%
2003	4,2%	3,9%	-0,3%
2004	14,8%	20,4%	4,9%
2005	5,9%	6,3%	0,3%
2006	3,7%	1,7%	-1,9%
2007	7,6%	8,0%	0,3%
2008	-6,0%	-7,4%	-1,5%
2009	-12,6%	-8,7%	4,4%
2010	-0,6%	-2,3%	-1,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la intensidad energética desagregada por mercancías y el total, así como la participación de cada una de las mercancías en el conjunto de la actividad para los años 1996 y 2010.

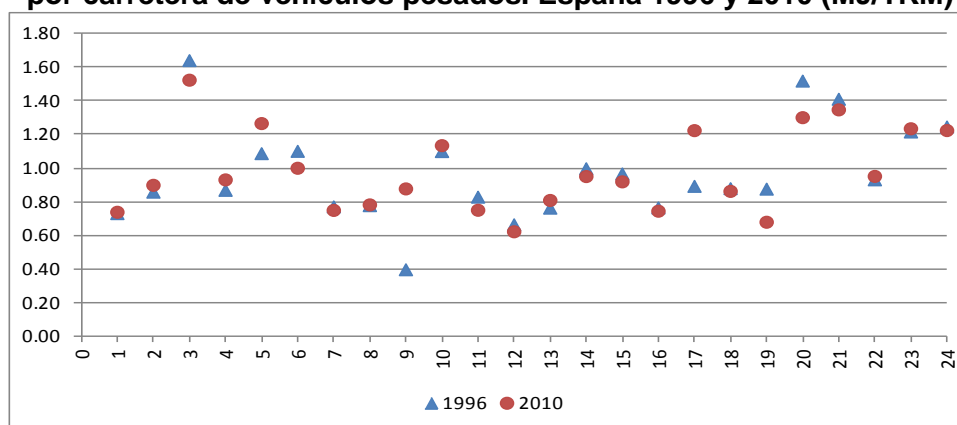
Cuadro 4. Intensidad energética (MJ/TKM) y distribución de la actividad (TKM) del transporte por carretera de mercancías. España 1996-2010

	Intensidad energética			Peso relativo	
	1996	2010	Variación	1996	2010
1	0,74	0,74	1,1%	3,2%	2,2%
2	0,86	0,90	4,7%	10,0%	9,8%
3	1,64	1,53	-7,1%	1,3%	0,7%
4	0,87	0,94	7,1%	2,8%	1,2%
5	1,09	1,27	16,3%	0,7%	0,6%
6	1,11	1,00	-9,1%	17,0%	20,2%
7	0,78	0,75	-2,7%	1,1%	1,5%
8	0,78	0,79	0,6%	1,1%	0,4%
9	0,40	0,88	119,3%	0,0%	0,0%
10	1,10	1,14	3,2%	3,6%	2,9%
11	0,83	0,76	-9,3%	1,1%	1,7%
12	0,67	0,63	-6,2%	0,1%	0,2%
13	0,77	0,81	5,9%	6,4%	6,1%
14	1,00	0,96	-4,7%	6,5%	6,5%
15	0,97	0,92	-4,9%	8,8%	7,9%
16	0,77	0,75	-2,5%	1,7%	1,3%
17	0,90	1,23	36,8%	0,1%	0,4%
18	0,88	0,87	-1,8%	6,4%	5,2%
19	0,88	0,68	-22,3%	0,7%	1,0%
20	1,52	1,30	-14,3%	6,0%	6,7%
21	1,41	1,35	-4,5%	1,4%	1,0%
22	0,94	0,96	2,2%	1,7%	1,3%
23	1,22	1,24	1,6%	8,6%	8,8%
24	1,25	1,23	-1,7%	9,7%	12,6%
ACTIVIDAD	1,05	1,03	-2,1%	100,0%	100,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Estos resultados previos a la descomposición paramétrica apuntan a un cambio en la intensidad energética y en la estructura de la actividad del transporte de mercancías por carretera en España entre los años 1996 y 2010. Más detalladamente, la intensidad energética del transporte de las diferentes mercancías revela una evolución diferenciada por grupos de mercancías. Así, ésta aumenta considerablemente en el caso del transporte del *Petróleo crudo (9)*, los *Productos carboquímicos, alquitranes (17)* y en el de *Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal (5)*, y en cambio disminuye sobre todo en el caso del transporte de la *Celulosa y residuos (19)* y de los *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontado de piezas (20)*. En 2010 la disparidad de las intensidades energéticas va desde los 0,63 MJ/TKM de *Minerales y residuos no ferrosos (12)* a los 1,53 MJ/TKM de *Animales vivos, remolachas azucareras (3)*, disparidad inferior a la mostrada en 1996 tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Intensidad energética por grupos de mercancías. Transporte por carretera de vehículos pesados. España 1996 y 2010 (MJ/TKM)



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Por otra parte, el peso relativo señala un cambio estructural significativo en la actividad del transporte de determinados grupos de mercancías. De hecho, ganan importancia en la actividad sobre todo los grupos de *Productos alimenticios y forrajes* y *Artículos diversos* (6), mientras que *Madera y corcho* (4), *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes* (18) y *Cereales* (01) son los que pierden mayor peso relativo en el conjunto de la actividad.

Cuadro 5. Evolución en la intensidad energética y en el peso relativo en el transporte por carretera de los diferentes grupos de mercancías

		INTENSIDAD ENERGÉTICA	
		Disminuye	Aumenta
PESO RELATIVO	Disminuye	Animales vivos, remolachas azucareras Cementos, cales, materiales de construcción manufacturados Minerales en bruto o manufacturados Abonos naturales o manufacturados Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes Artículos metálicos	Cereales Patatas, otras hortalizas frescas o congeladas, frutas frescas Madera y corcho Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal Combustibles minerales sólidos Productos petrolíferos Productos metalúrgicos Vidrio, cristalería, productos cerámicos
	Aumenta	Productos alimenticios y forrajes Oleaginosas Minerales de hierro, chatarras, polvos de altos hornos Minerales y residuos no ferrosos Celulosa y residuos Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas Artículos diversos	Petróleo crudo Productos carboquímicos, alquitranes Cueros, textiles, vestimenta, artículos manufacturados diversos

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Asimismo, atendiendo al cambio estructural, los datos obtenidos de la EPTMC señalan que la distancia recorrida por los vehículos en vacío en el periodo considerado muestra un menor peso relativo respecto al conjunto de la actividad. Así, si en 1996 un 29,1% de los kilómetros totales recorridos por los vehículos correspondían a desplazamientos en vacío, en 2010 éstos se reducen a un 23,7%, lo que supone una mejora relativa en la logística de la actividad. Mientras que la distancia recorrida por los vehículos en vacío aumenta un 54,2%, la distancia recorrida por los vehículos con carga incrementa un 104,1% en el período considerado. Una evolución mucho menos favorable muestra, en cambio, el factor carga —capacidad de carga del vehículo utilizada— que pasa de un 42,8% en 1996 a un 41,6% en 2010.

4. Resultados del análisis de descomposición

4.1. Resultados de la descomposición M-LMDI-II

Los resultados obtenidos del análisis M-LMDI-II se presentan en el cuadro 6. En 6A se muestran los resultados de la descomposición anual y en 6B los de la descomposición acumulativa. La descomposición anual muestra claramente que la evolución de la intensidad energética de la actividad del transporte de mercancías por carretera ha sido errática a lo largo del periodo considerado. Así, en algunos años ésta se incrementa porque los dos efectos —intensidad y estructura— contribuyen negativamente —años 1999, 2001, 2005, 2007 y 2009— y, en otros años en cambio se reduce porque ambos efectos son positivos —1997, 1998, 2006 y 2008.

Sin embargo, la descomposición acumulativa cuantifica una disminución de la intensidad energética derivada del efecto intensidad de un 3,4% durante el período 1996-2010. En contraste, el cambio estructural experimentado por la actividad contribuye al empeoramiento de la intensidad energética en un 1,3%. La combinación de ambos efectos conduce a un descenso de la intensidad energética observada del 2,1%.

Las implicaciones de los resultados obtenidos son inmediatas. La reducción de la intensidad energética en el caso del transporte de mercancías por carretera en España es consecuencia de una contribución favorable a esta reducción del efecto intensidad —mayor eficiencia energética aparente (menor consumo de combustible por tonelada-kilómetro) en el transporte de mercancías— compensado parcialmente por la contribución en sentido opuesto del efecto estructura —las mercancías más intensivas energéticamente ganan peso en el conjunto de la actividad. Así, al examinar con mayor detalle los resultados obtenidos en la descomposición acumulativa, el efecto intensidad muestra tasas de variación acumuladas negativas en todo el período, favoreciendo una mayor eficiencia energética. Igualmente, a excepción de los años 1997 y 1998, el efecto estructura presenta tasas de variación acumuladas positivas contribuyendo, por su parte, a una menor eficiencia energética. En este caso, dado que las tasas de variación acumuladas del efecto intensidad son superiores a las del efecto estructura, la intensidad energética evidencia un descenso en el periodo analizado.

Cuadro 6. Descomposición M-LMDI-II de la intensidad energética

CUADRO 6A. Análisis anual
(base = año precedente)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1997	-3,3%	-3,0%	-0,2%
1998	-2,6%	-2,3%	-0,2%
1999	1,8%	1,2%	0,5%
2000	-1,3%	-1,8%	0,5%
2001	1,6%	1,3%	0,3%
2002	-2,5%	-2,7%	0,3%
2003	-0,3%	-0,5%	0,3%
2004	4,9%	5,2%	-0,2%
2005	0,3%	0,3%	0,1%
2006	-1,9%	-1,3%	-0,7%
2007	0,3%	0,1%	0,3%
2008	-1,5%	-1,2%	-0,3%
2009	4,4%	4,1%	0,3%
2010	-1,7%	-2,2%	0,5%

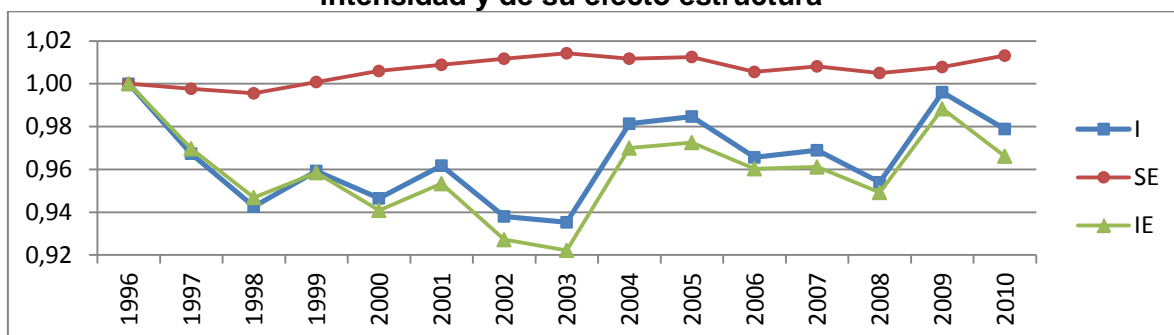
CUADRO 6B. Análisis acumulativo
(base = año 1996)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1997	-3,3%	-3,0%	-0,2%
1998	-5,7%	-5,3%	-0,4%
1999	-4,1%	-4,2%	0,1%
2000	-5,4%	-5,9%	0,6%
2001	-3,8%	-4,7%	0,9%
2002	-6,2%	-7,3%	1,2%
2003	-6,5%	-7,8%	1,4%
2004	-1,9%	-3,0%	1,2%
2005	-1,5%	-2,7%	1,3%
2006	-3,4%	-4,0%	0,6%
2007	-3,1%	-3,9%	0,8%
2008	-4,6%	-5,1%	0,5%
2009	-0,4%	-1,2%	0,8%
2010	-2,1%	-3,4%	1,3%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

Asimismo, cabe señalar que el comportamiento errático manifestado por la intensidad energética se corresponde con la evolución mostrada por el efecto intensidad a lo largo del período considerado, mientras que el efecto estructura muestra una menor variabilidad en el período. En particular, cabe destacar el efecto intensidad negativo correspondiente a los años 2004 y 2009 que provoca cambios de tendencia en la evolución de la intensidad energética, es necesario obtener información detallada para entender el por qué de dicho comportamiento (Figura 3). Nuevamente se evidencia la importancia del efecto intensidad en la determinación de la intensidad energética frente al efecto estructura. De cara a profundizar en los factores que hay detrás de la contribución de los distintos efectos y poder obtener más pistas sobre las medidas que podrían mejorar su evolución en el futuro, procedemos a continuación a descomponer éstos en la contribución del transporte de los diferentes tipos de mercancías.

Figura 3. Evolución acumulada de la intensidad energética, de su efecto intensidad y de su efecto estructura



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

4.2. Resultados de la atribución de los cambios en el índice Divisia

En el Cuadro 7 se exponen los resultados de la variación porcentual experimentada por la intensidad energética desagregada por mercancías con la descomposición acumulativa para el periodo 1996-2010, además de la variación de los efectos intensidad y estructura igualmente desagregados por mercancías.

En cuanto al efecto intensidad cabe decir que los grupos de mercancías *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)*, determinan prácticamente la evolución favorable del efecto intensidad entre los años 1996 y 2010.

Con respecto al efecto estructura se desprende que el empeoramiento de la intensidad energética derivada de este efecto a lo largo del período estudiado tiene como principales responsables a los grupos de mercancías *Productos alimenticios y forrajes (6)*, *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)* y *Artículos diversos (24)*, y a pesar de la contribución positiva de los grupos de mercancías *Madera y corcho (4)* y *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)*.

Cuadro 7. Desagregación de los efectos intensidad y estructura por grupos de mercancías. Año 2010. Análisis acumulativo (base = 1996)

	Intensidad energética	Efecto intensidad	Efecto estructura
1	-0,7	0,0	-0,7
2	0,2	0,4	-0,2
3	-1,1	-0,1	-0,9
4	-1,3	0,1	-1,4
5	0,1	0,1	0,0
6	1,5	-1,6	3,1
7	0,3	0,0	0,3
8	-0,6	0,0	-0,6
9	0,0	0,0	0,0
10	-0,8	0,1	-0,8
11	0,4	-0,1	0,4
12	0,1	0,0	0,1
13	0,1	0,3	-0,2
14	-0,3	-0,3	0,0
15	-1,2	-0,4	-0,8
16	-0,3	0,0	-0,3
17	0,4	0,0	0,4
18	-1,2	-0,1	-1,1
19	0,1	-0,2	0,2
20	-0,3	-1,3	1,0
21	-0,6	-0,1	-0,5
22	-0,4	0,0	-0,4
23	0,4	0,1	0,3
24	3,3	-0,1	3,5
Actividad	-2,1%	-3,4%	1,3%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

La combinación de ambos efectos proporciona la contribución de cada grupo de mercancías a la evolución de la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera en el período 1996-2010. Así, los grupos de mercancías *Animales vivos, remolachas azucareras (3), Madera y corcho (4), Minerales en bruto o manufacturados (15) y Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)* contribuyen significativamente a la reducción de la intensidad energética en el transporte por carretera.

No obstante, dos grupos de mercancías, *Productos alimenticios y forrajes (6) y Artículos diversos (24)*, impiden una mayor contracción de la intensidad energética durante el periodo analizado, porque a pesar de ser de los grupos de mercancías más intensivos energéticamente en su transporte y que reducen su intensidad energética en el periodo considerado (efecto intensidad positivo) también es cierto que, teniendo una participación significativa, aumentan su peso relativo en el conjunto de la actividad (efecto estructura negativo), predominando el segundo efecto sobre el primero.

Precisamente, teniendo en cuenta lo anterior y en relación al estudio sobre el comportamiento errático de la intensidad energética, como consecuencia de la alta variabilidad del efecto intensidad señalado en el apartado precedente, puede desprenderse del análisis realizado que, en particular, dicha variabilidad se debe a los grupos *Productos alimenticios y forrajes (6) y Artículos diversos (24)*. En concreto, en 2004 y en 2009 ambos grupos de mercancías experimentaron un fuerte crecimiento del efecto intensidad. Sin embargo, un análisis más detallado de la evolución del efecto intensidad en los años 2004 y 2009 revela que los grupos *Patatas, hortalizas y frutas frescas (2) y Cueros, textiles, vestimenta y artículos manufacturados diversos (23)* deben ser asimismo considerados. Igualmente, el grupo de *Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y piezas (20)* debe ser estudiado también en 2009 (véase cuadro 10 del Apéndice).

A fin de examinar qué factores explican los resultados del efecto intensidad para los grupos de mercancías señalados en los años 2004 y 2009 se analizan dos indicadores clave de rendimiento de la actividad: el contenido de transporte y la eficiencia del transporte. En 2004 y 2009 los indicadores de contenido de transporte —distancia recorrida por tonelada transportada— y eficiencia del transporte —toneladas transportadas por vehículo— empeoran considerablemente⁶. En definitiva, la evolución negativa del efecto intensidad en 2004 y 2009 se explica porque en los grupos de mercancías señalados los vehículos transportan menos toneladas y recorren más kilómetros por tonelada transportada.

⁶ Con respecto al indicador de contenido de transporte en 2004 el grupo de mercancías *Artículos diversos (24)* es una excepción, y en 2009 son la excepción los grupos de mercancías *Patatas, hortalizas y frutas frescas (2) y Cueros, textiles, vestimenta y artículos manufacturados diversos (23)*.

Cuadro 8. Variación anual de indicadores clave de rendimiento de la actividad del transporte de mercancías

		2003/2004	2008/2009
Contenido de transporte	2	11,0%	-5,6%
	6	6,9%	8,0%
	20	-	8,8%
	23	18,5%	-0,8%
	24	-3,0%	3,5%
Eficiencia del transporte	2	-12,9%	-6,6%
	6	-4,4%	-1,0%
	20	-	-7,5%
	23	-15,4%	-6,7%
	24	-3,3%	-1,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ministerio de Fomento (1996-2010, 2010) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006, 2010)

5. Conclusiones

En España, el sustancial aumento del consumo energético en el transporte de mercancías durante el periodo 1996-2010 se explica por el fuerte crecimiento de la actividad. El responsable de esta evolución ha sido, claramente, el transporte de mercancías por carretera al suponer, en el periodo considerado, entre un 90% y un 96% del transporte interior de mercancías.

Investigar la intensidad energética del transporte, su evolución y los factores que la determinan ayuda a entender el comportamiento de uno de los componentes del consumo energético clave para lograr un consumo energético más eficiente en dicha actividad. La aplicación de la descomposición paramétrica multiplicativa LMDI-II a la intensidad energética del transporte de mercancías por carretera permite complementar los trabajos que hasta la fecha se han centrado en el estudio de la evolución del consumo energético. Asimismo, la ampliación del análisis a través de la atribución de los cambios en el índice Divisia permite ahondar en los resultados obtenidos al obtener cómo han participado los distintos grupos de mercancías en la marcha de la intensidad energética. Este artículo pretende contribuir así, a un mayor conocimiento de los factores detrás de la evolución experimentada por la intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera, que posibilite el diseño de medidas que permitan alcanzar una mayor eficiencia energética en esta actividad.

El estudio de la evolución del creciente consumo energético del transporte de mercancías por carretera apunta como principal factor explicativo el fuerte crecimiento de la actividad durante los años 1996 y 2010. Por el contrario, el

análisis de la intensidad energética muestra una tendencia decreciente durante el periodo analizado, es decir, una mayor eficiencia energética; si bien la mejora es muy moderada en relación al aumento en la actividad. El análisis de descomposición de la intensidad energética muestra que el resultado positivo es consecuencia de un comportamiento positivo del efecto intensidad —menor consumo de combustible por tonelada-kilómetro en el periodo considerado— compensado parcialmente por un comportamiento negativo del efecto estructura—los grupos de mercancías más intensivos energéticamente en su transporte, aumentan su peso relativo en el conjunto de la actividad.

Por otra parte, el análisis destaca que la tendencia decreciente de la intensidad energética no es constante en el tiempo sino errática, como consecuencia de la inestabilidad mostrada por el efecto intensidad, mientras que el efecto estructura presenta poca variabilidad. En este sentido, el estudio detallado de la contribución de los diferentes grupos de mercancías a la reducción de la intensidad energética muestra que no todos los grupos participan de forma positiva en dicha reducción ni tampoco con el mismo grado a lo largo del tiempo. Los grupos de mercancías que contribuyen significativamente a la reducción de la intensidad energética en el transporte por carretera son *Animales vivos, remolachas azucareras (3)*, *Madera y corcho (4)*, *Minerales en bruto o manufacturados (15)* y *Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes (18)*. Mientras que *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Artículos diversos (24)* son los grupos de mercancías que impiden una mayor contracción de la intensidad energética durante el periodo analizado y cuyo comportamiento, además, explica en gran parte la evolución errática del efecto intensidad.

La importancia del efecto intensidad en la determinación de la intensidad energética frente al efecto estructura y el hecho de que el efecto estructura depende de la especialización productiva de la economía, refuerza la idea de que los esfuerzos de las autoridades públicas deberían encaminarse en el corto y medio plazo a aplicar medidas que condujeran a una mayor reducción del efecto intensidad. Éstas no deberían consistir únicamente en la sustitución gradual de la flota con vehículos más eficientes energéticamente y/o la introducción de combustibles de mayor calidad, o en términos más generales, en infraestructuras adecuadas y una conducción eficiente. Ya que son otros aspectos los que deberían igualmente considerarse, dado que los distintos grupos de mercancías participan en diferente grado y signo en la reducción de este efecto. En particular, dos indicadores clave de rendimiento de la actividad, contenido de transporte y eficiencia del transporte, revelan la importancia de la logística en el transporte de mercancías a la hora de lograr una mayor eficiencia energética por grupos de mercancías. Es el caso del comportamiento negativo en los años 2004 y 2009 del efecto intensidad que se explica porque en dos grupos de mercancías, *Productos alimenticios y forrajes (6)* y *Artículos diversos (24)*, los vehículos transportan menos toneladas y recorren más kilómetros por tonelada transportada.

En este mismo sentido, la evolución del efecto estructura muestra cómo el éxito de las medidas para hacer más eficiente el uso de energía en el transporte pueden verse matizadas si no se tiene en cuenta adecuadamente la evolución de la estructura por tipos de mercancías. Así, es preciso diseñar medidas que

consideren alcanzar una mayor eficiencia energética con una estructura de transporte donde ganan peso las mercancías cuyo transporte es más intensivo en energía (siendo relevantes las diferencias entre mercancías), como ha ocurrido en España en el período analizado.

En definitiva, la descomposición por grupos de mercancías de los efectos intensidad y estructura de la intensidad energética apuntan a la necesidad de diseñar medidas que tengan en cuenta las mercancías que se transportan.

La investigación futura, en consecuencia, debe centrarse en estudiar con mayor detalle los diversos factores que pueden haber influido en la evolución del efecto intensidad y, así, encontrar los mecanismos que podrían conducir a mejorar dicha tendencia. Pues, si mercancías tales como, por ejemplo, *Madera y corcho (4)* han alcanzado una mayor eficiencia energética en su transporte, cabe pensar que también puede lograrse en el transporte de otros grupos de mercancías. Entre los factores a analizar cabría destacar, entre otros, el estudio de las elasticidades de demanda del transporte de mercancías por carretera desagregando dicho estudio por grupo de mercancías. Del mismo modo, debería ampliarse el trabajo futuro con la incorporación en el análisis del otro medio de transporte interior de mercancías, el ferrocarril. De manera que el problema podría analizarse teniendo en cuenta no sólo la desagregación por mercancías sino también por modo de transporte utilizado. Finalmente, la presente investigación puede ampliarse centrandose el estudio en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en su evolución como en sus implicaciones y en la especificación de posibles soluciones.

6. Bibliografía

Ang B.W. (1994) "Decomposition of industrial energy consumption. The energy intensity approach" *Energy Economics*, vol.16, n.3, pp. 163-174.

Ang, B.W. (2004) "Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?" *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1131-1139.

Ang, B.W. y Na Liu (2007) "Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach" *Energy Policy*, vol. 35, pp.238-426.

Ang, B.W. y Zhang, F. Q. (2000) "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies" *Energy*, vol. 25, pp.1149-1176.

Choi, K.H. y Ang, B.W. (2012) "Attribution of changes in Divisia real energy intensity index – An extension to index decomposition analysis" *Energy Economics*, vol.34, pp.171-176.

Eorn, J. y Schipper,L. (2010) "Trends in passenger transport energy use in South Korea" *Energy Policy*, vol. 38, pp.3598-3607.

European Commission. *Eurostat* (2013) Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities. Consulta: 13 noviembre 2013 ≤ <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> >

IEA (1997) *Indicators of energy use and efficiency. Understanding the link between energy and human activity*. OECD/IEA. 1997.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2006) *Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010) *Factores de conversión energía final, energía primaria y factores de emisión de CO₂*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2010) *Informe anual de indicadores energéticos. Año 2009*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Kamakaté, F. y Schipper (2009) "Trends in truck freight energy use and carbon emissions in selected OECD countries from 1973 to 2005" *Energy Policy*, vol. 37, pp. 3743-3751.

Lenzen, M. (2006) "Decomposition analysis and the mean-rate-of-change index" *Applied Energy*, vol. 83, pp. 185-198.

McKinnon, A.C. y Piecyk, M. I. (2009) "Measurement of CO₂ emissions from road freight transport: A review of UK experience" *Energy Policy*, vol.37, pp. 3733-3742.

Mendiluce, M. y Schipper L., (2011) "Trends in passenger transport and freight energy use in Spain" *Energy Policy*, vol. 39, pp.6466-6475.

Millard-Ball, A. Schipper, L. (2010) "Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries" *Transport Reviews*, pp.1-22.

Ministerio de Fomento (1996-2010) *Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por carretera*. Subdirección General de Estadísticas Ministerio de Fomento.

Ministerio de Fomento (2010) *Observatorio del Mercado de transporte de mercancías por carretera, nº 19*. Secretaría de Estado de Transportes. Dirección General de Transporte Terrestre. Ministerio de Fomento, Madrid

Pérez Martínez, P.J. (2009) "The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain" *European Transport Research Review*, vol.1, pp.75-85

Pérez Martínez, P.J. (2010) "Freight transport, Energy Use, and Emission Trends in Spain" *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2191, pp.16-22.

Pérez Martínez, P.J. y Monzón de Cáceres, A. (2008) “Consumo de energía por el transporte en España y tendencias de emisión” *Observatorio Medioambiental*, vol.11, pp. 127-147.

Schipper, L. (2011) “Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?” *Transport Policy*, vol. 18, pp.358-372.

Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J. y Champion, T. (2009) “Decomposing road freight energy use in the United Kingdom” *Energy Policy*, vol. 37, pp. 3115–3129

Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J. y Champion, T. (2012) “Decoupling of road freight energy use from economic growth in the United Kingdom” *Energy Policy*, vol. 41, pp.84-97.

Stead D. (2001) “Transport intensity in Europe – indicators and trends” *Transport Policy*, vol.8, issue 1, pp. 29-46.

Vaneck, F.M. y Campbell, J.B. (1999) “UK road freight energy use by product: trends and analysis from 1985 to 1995” *Transport Policy*, vol. 6, pp.237-246

Vaneck, F.M. y Morlock, E.K. (2000) “Improving the energy efficiency of freight in the United States through commodity-based analysis: justification and implementation” *Transportation Research Part D*, vol. 5, pp. 11-29.

Apéndice

CUADRO A1. NOMENCLATURA DE LOS GRUPOS DE MERCANCÍAS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NST/R A 2 DÍGITOS.

	Grupos de mercancías
01	Cereales
02	Patatas, otras hortalizas frescas o congeladas, frutas frescas
03	Animales vivos, remolachas azucareras
04	Madera y corcho
05	Materias textiles y residuos, otras materias primas de origen animal o vegetal
06	Productos alimenticios y forrajes
07	Oleaginosas
08	Combustibles minerales sólidos
09	Petróleo crudo
10	Productos petrolíferos
11	Minerales de hierro, chatarras, polvos de altos hornos
12	Minerales y residuos no ferrosos
13	Productos metalúrgicos
14	Cementos, cales, materiales de construcción manufacturados
15	Minerales en bruto o manufacturados
16	Abonos naturales o manufacturados
17	Productos carboquímicos, alquitranes
18	Productos químicos, excepto productos carboquímicos y alquitranes
19	Celulosa y residuos
20	Vehículos y material de transporte, máquinas, motores, incluso desmontados y
21	Artículos metálicos
22	Vidrio, cristalería, productos cerámicos
23	Cueros, textiles, vestimenta, artículos manufacturados diversos
24	Artículos diversos

Fuente: NST/R