Energía y transporte*

María Mendiluce
Instituto de Investigación Tecnológica
Universidad Pontificia Comillas de Madrid

Pablo del Río
Instituto de Políticas y Bienes Públicos
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Resumen

El transporte en España se ha convertido en el principal responsable del crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los altos ratios de dependencia energética de la economía y del incremento de la intensidad energética.

El transporte de viajeros representa prácticamente la mitad del consumo energético del sector y el 80% del mismo se produce en la carretera. Utilizando la metodología de descomposición de índices, en este trabajo se analizan los factores determinantes de su evolución y se avanza en la comprensión de las relaciones entre esos factores y otras variables como la renta per capita, la demanda de movilidad y los precios. El artículo aporta algunas recomendaciones para modificar las tendencias de incremento en el consumo energético en este sector.

Palabras Clave: *Transporte de viajeros, energía, emisiones de CO_2, seguridad del suministro, movilidad.*

Clasificación JEL: *L90, R48.*

Abstract

Transport in Spain has become the main responsible for greenhouse gases emissions growth, high energy dependence ratios and rising energy intensities. Passenger transport accounts for half of transport consumption and 80% occurs of passenger transport occurs on the road. Using the methodology of index decomposition, this paper examines the determinants of passenger transport evolution and advances the understanding of the relationship between these factors and other variables such as income per capita, mobility demand and prices. The article provides some recommendations to reverse the trend of increased energy consumption in this sector.

Keywords: *Passenger transport, energy, CO_2 emissions, security of supply, mobility.*

JEL Classification: *L90, R48.*

1. Introducción

El transporte es un elemento esencial para mejorar la calidad de vida, aumentar la competitividad de la economía y reforzar la cohesión social y territorial. El trans-

* Los autores agradecen a un revisor anónimo los comentarios realizados a una versión previa de este trabajo. También agradecen al CSIC el apoyo financiero recibido para su realización (proyecto intramural).

porte ha sido capaz, en general, de satisfacer las necesidades de movilidad de las actividades económicas, ha proporcionado accesibilidad a los ciudadanos a mercados de trabajo, bienes y servicios y ha favorecido la equidad social y territorial. Sin embargo, al satisfacer estas necesidades de movilidad, se ha contribuido de manera significativa a una serie de problemas, tanto ambientales como no ambientales, debido a su uso intensivo de energías fósiles[1].

La economía española se caracteriza por tener un consumo de energía por unidad de producto interior bruto (intensidad energética) superior al de la UE-15. La intensidad energética española fue en 2006 un 29% superior a la de la UE y el transporte es el responsable de más de la mitad de la diferencia (Mendiluce, 2010).

La desvinculación del crecimiento económico y el consumo energético del transporte es uno de los principales retos a los que se enfrentan los gobiernos, por sus consecuencias sobre la seguridad de suministro y las emisiones de CO_2.

En el año 2008 el transporte representó el 39% del consumo final de energía en España y su crecimiento ha sido imparable desde principios de los noventa. En torno al 98% de este consumo proviene de importaciones, lo que convierte a este sector en el principal responsable de los altos ratios de dependencia energética de la economía española. Por otro lado, el transporte genera el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en España tras un incremento del 89% entre 1990 y 2006, lo cual lo sitúa asimismo como el sector que más contribuye al crecimiento de las emisiones en España.

Esta problemática afecta a casi todos los países. Aunque existen alternativas al petróleo como los biocombustibles o la electricidad, todavía éstos suponen una parte muy reducida del consumo energético del sector y parece que mantendrán un porcentaje reducido en el corto y medio plazo (AIE, 2008)[2]. Sin embargo reducir el consumo de productos petrolíferos es ineludible si se quiere reducir las emisiones de GEI y la dependencia energética.

Por todos estos motivos las políticas energéticas para el transporte se convertirán probablemente en la prioridad de los gobiernos de los países desarrollados. En el caso español así lo han puesto de manifiesto informes recientes (EEDS, 2007 y Gobierno de España, 2009a).

El objetivo de este trabajo es avanzar en la comprensión del consumo energético del sector del transporte en España, comparar su evolución con los países de nuestro entorno europeo, analizar los determinantes del transporte de viajeros y proponer una serie de recomendaciones.

---

[1] Las externalidades ambientales y no ambientales del transporte podrían ascender al 10% del PIB español. Los accidentes constituyen la externalidad negativa más cara (17.600 Millones de €/año), seguida de los efectos negativos sobre la calidad del aire (6.816 M€/año) y cambio climático (5.993 M€/año) (Mendiluce, 2008).

[2] Los biocombustibles representan solo un 1,5% de la demanda total de combustible en el transporte por carretera a nivel mundial (datos de 2006) y se espera que esta participación aumente hasta el 5% en el escenario de referencia o *business-as-usual,* según la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2008). En Europa se ha establecido un objetivo del 10% de participación de los biocombustibles en el transporte para 2020.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. La siguiente sección aporta una breve descripción de la situación y tendencias del consumo energético del sector del transporte en España, comparándolas con los países de nuestro entorno europeo. Las implicaciones derivadas de esos niveles de consumo energético en la seguridad de suministro energético y en las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático se analizan en la tercera sección. La sección cuarta está dedicada al análisis de los determinantes de ese consumo energético. Para ello se descompone el crecimiento del consumo energético del transporte de viajeros en varios factores. La influencia de los precios en el consumo energético del transporte se analiza en la quinta sección. El trabajo se cierra con un apartado de conclusiones en el que se aportan algunas recomendaciones de política pública.

2. Transporte y consumo energético: Situación y tendencias

Los datos de consumo energético en el sector transporte muestran dos aspectos que, conjuntamente, resultan preocupantes: un considerable crecimiento unido a una elevada participación relativa en el consumo final.

El consumo de energía final por parte del sector del transporte en España ascendió en 2006 a 40,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), lo que supone casi el doble del consumo con respecto a 1990 (22,4 Mtep). Como muestra la tabla 1, este incremento es muy superior al experimentado por la media de los países de la UE, que ha crecido un 32% en ese período.

Además, en comparación con la UE, la participación del sector transporte en el total del consumo de energía final es significativamente superior en España (41,8% frente al 31,4%). Únicamente tres países muy pequeños muestran una mayor participación del transporte en el consumo energético (Luxemburgo, Malta y Chipre) (Comisión Europea, 2009).

TABLA 1

CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA Y LA UE-27 (MTEP)

	1990	% del consumo final	2006	% del consumo final
España	22,4	39,5	40,7	41,8
UE-27	280	26,2	370	31,4

Fuente: Comisión Europea (2009).

Los datos más recientes del balance energético nacional, elaborados por el IDAE (2009) muestran un cambio de tendencia. El consumo de energía final del sector

del transporte en el año 2008 ascendió a 39,6 Mtep, lo que supone una reducción del 2,9% con respecto a 2007, superior a la disminución del consumo total de energía final en España en 2008 (-2,6%)[3].

La distribución del consumo por modos muestra que la dependencia del transporte por carretera no es en absoluto una característica particular de nuestro país, pues esta dependencia es incluso ligeramente inferior al caso europeo. Es de destacar también el peso del modo aéreo. Tanto este modo como el ferrocarril tienen contribuciones relativas similares en España y en la UE (tabla 2).

TABLA 2

DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN EL TRANSPORTE POR MODOS (MTEP)

	España		EU-27	
	2006	%	2006	%
Carretera	32,5	79,7	303	81,9
Ferrocarril	1	2,5	9	2,4
Aéreo	5,6	13,7	52	14,1
Navegación	1,7	4,2	6	1,6
TOTAL	40,8	100	370	100

Fuente: Comisión Europea (2009).

Con respecto a las tendencias del consumo energético por modos a lo largo del periodo 1990-2007, es preocupante el crecimiento del consumo energético del transporte por carretera (tasa de variación media anual del 3,8%, en la media del sector), dado el elevado peso de este sector en el consumo final, así como la evolución del sector aéreo en este sentido (3,6%). El consumo energético del ferrocarril se ha incrementado en un 5,6%, mientras que el transporte marítimo ha experimentado un descenso del 0,8% (AIE, 2009).

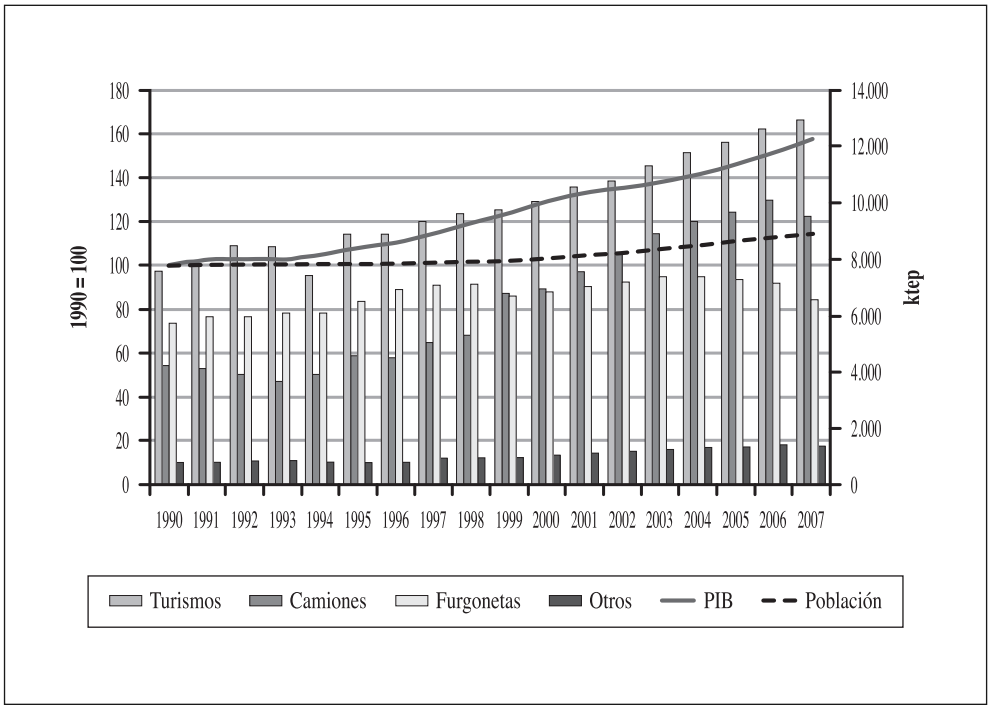
La ausencia de estadísticas desagregadas del consumo energético del transporte de mercancías y viajeros en los balances energéticos dificulta el análisis en estos dos

[3] Por productos, destaca el descenso de la demanda de gasóleo, 4% en 2008, tras los altos crecimientos de los años anteriores, derivado de la menor actividad del transporte de mercancías y del menor crecimiento del parque de turismos diésel. En querosenos (para el modo aéreo) se ha producido una reducción del 1% en el año, siendo el carburante de menor descenso de demanda. La demanda de gasolinas continúa bajando (6%) por la dieselización de las nuevas matriculaciones (IDAE, 2009).

tipos de transporte. Para el caso español se utilizan en este artículo los datos estimados por el IDAE, que se muestran en la figura 1, donde se recogen las principales magnitudes del transporte en España. El PIB en euros constantes de 1995 ha crecido entre 1990 y 2007 un 57% y la población un 14%. Sin embargo el consumo energético del transporte ha aumentado mucho más, tanto en el transporte en vehículo particular (70%), como en camión (124%), aunque menos en furgonetas (15%)[4]. Dado que esta movilidad se cubre principalmente con combustibles fósiles derivados del petróleo, las emisiones de GEI han crecido de forma similar.

FIGURA 1

EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE CARRETERA EN ESPAÑA (1990 = 100)



Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE (2009).

La intensidad energética del transporte total (expresada como la ratio entre consumo energético del sector transporte y el PIB) en el periodo 1990-2008 en España es

[4] Existen algunas deficiencias estadísticas en estas cifras. La distribución del consumo energético en vehículo privado o furgoneta de las actividades productivas y del transporte de viajeros no está clara. (Mendiluce, 2010).

superior a la media europea, mostrando al mismo tiempo una estabilización hacia la segunda mitad de los noventa, con una evolución en el entorno de 0,0515 kep/€ 2000, es decir, más de un 40% superior al valor medio de la UE (MITYC, 2009).

Según MITYC (2009), la causa principal de la diferencia y divergencia entre el indicador nacional y el europeo se encuentra en el elevado consumo energético que este sector presenta a nivel nacional, debido a factores tales como el aumento de la movilidad y los niveles de motorización. Respecto a este último, una particularidad del parque nacional de turismos es su creciente dieselización, especialmente desde finales de los noventa, y a un ritmo superior al del conjunto de la UE-15. MITYC (2009) sugiere que este factor puede haber contribuido a paliar el empeoramiento en la eficiencia energética del sector que, de otro modo, se habría producido considerando las características propias del sector transporte a nivel nacional. Sin embargo, lo cierto es que los vehículos diésel se utilizan de forma más intensiva que los de gasolina, como se verá en la sección 4.

3. Implicaciones del consumo energético en el transporte para la seguridad del suministro y el cambio climático

3.1. *Seguridad del suministro*

Uno de los principales problemas energéticos que tiene nuestro país es la fuerte dependencia exterior del sector energético, que se traduce en riesgos para la seguridad del suministro energético. Esta dependencia, definida como el ratio de las importaciones netas sobre el consumo bruto de energía, es del 81%, mientras que la media europea se sitúa en el 54% (Comisión Europea, 2009).

El sector transporte contribuye considerablemente a esta elevada dependencia, dado su crecimiento, su elevada participación relativa en el consumo energético total, el hecho de que casi todo el consumo energético de este sector se basa en petróleo y la inexistencia de recursos petrolíferos en nuestro país. Esto provoca una dependencia del petróleo prácticamente absoluta en España (99,5%). Las importaciones de este combustible alcanzaron en 2006 las 70 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), alrededor de dos tercios de las importaciones energéticas totales. Esto resulta particularmente preocupante en un contexto de incremento de los precios del petróleo.

La contribución del petróleo al consumo final energético se ha incrementado sustancialmente, un 82%, entre 1990 y 2006. El transporte representó un 67% del consumo final de petróleo en 2006, frente a un 56% en 1990. El transporte de pasajeros representa un 15% del consumo de energía en España. El transporte es la actividad que incurre en mayores riesgos ante problemas en el suministro energético y es el sector más vulnerable debido a la concentración de su demanda en los productos petrolíferos con pocos sustitutos (Mendiluce, 2010).

3.2. *Emisiones de GEI*

El sector de transporte está recibiendo una considerable atención en el contexto de los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) fijados en el protocolo de Kioto. Este interés se debe al elevado porcentaje de este sector en las emisiones totales, tanto a nivel global como europeo o nacional, y a las altas tasas de crecimiento experimentadas en los últimos años. Un aumento en el consumo de energía en el sector de transporte implica un aumento en las emisiones de GEI y la necesidad de acudir al mercado de emisiones para comprar permisos que cubran esas mayores emisiones.

Las emisiones de GEI han aumentado en un 52% entre 1990 y 2006 en España, dificultando la consecución del objetivo adquirido en el protocolo de Kioto (un incremento del 15% entre 1990 y 2008-2012). Este aumento se debe en parte al aumento significativo de las emisiones de GEI del transporte (89% en este período), que seguirán creciendo hasta un 93% en 2010 (AEMA, 2008). Esto contrasta claramente con la UE-27, donde tan solo han aumentado en un 27% y se espera que lleguen al 29% en 2010. En España el sector del transporte representa el 25,4% de las emisiones totales, este porcentaje es significativamente más bajo que en la UE-27 (19,3%). El transporte por carretera supone un 89,2% de las emisiones de GEI del transporte en España. El resto se refiere a la aviación (6,6%), marítimo (3,9%) y ferrocarril (0,3%)[5].

En el caso del transporte de viajeros por carretera, el 53,2% de las emisiones corresponden a los turismos y motocicletas, mientras que el 33,5% proviene de los vehículos pesados –autobuses y camiones– y el restante 13,3% de los vehículos de transporte ligeros. Por pauta de conducción, el 49,6% de las emisiones del transporte por carretera se produjeron en vías de alta velocidad, preferentemente en trayectos interurbanos, mientras que el 36,6% corresponde al ámbito urbano y el restante 13,8% a las pautas de conducción intermedias (Gobierno de España, 2009b).

La evolución de las emisiones de este sector contribuye decisivamente al incremento del total de las emisiones de GEI en España. El transporte se encuentra entre los sectores difusos excluidos del sistema de comercio de emisiones europeo, por lo que no es posible imputar bajo este sistema el coste de esta desviación a

---

[5] Esta situación presenta ciertas similitudes a nivel mundial y europeo. Las emisiones de CO_2 del transporte a nivel mundial alcanzaron los 6,3 $GtCO_2$ en 2004, lo que representa un 23% de las emisiones de CO_2 relacionadas con la energía. Su tasa de crecimiento fue la mayor de los sectores consumidores de energía. El subsector del transporte por carretera representa el 74% de las emisiones totales de CO_2 del transporte. Se espera que las mayores tasas de crecimiento de las emisiones tengan lugar en los países en vías de desarrollo y en los menos desarrollados (IPCC, 2007a). En Europa, el transporte fue responsable del 28% de las emisiones totales en el periodo 1990-2005, aunque las tasas de crecimiento varían significativamente entre los países europeos (AEMA, 2008). Si el sector del transporte hubiera mostrado la misma tendencia decreciente en las emisiones que en el resto de los sectores, las emisiones de CO_2 total se hubieran reducido en un 14% en lugar de un 7,9% en la UE. Además, el peso del transporte de viajeros por carretera en las emisiones de CO_2 es bastante significativo en la UE (12% en 2004).

quien lo genere. Por ello el Gobierno tendrá que asumir el coste del exceso de las emisiones de los sectores difusos sobre el objetivo adquirido, que podría situarse en torno a los 3.200 millones de euros para el quinquenio 2008-2012[6]. Para el periodo 2013-2020 la UE ha fijado objetivos de reducción de las emisiones difusas por países. A España le corresponde una reducción del 10%, un objetivo claramente difícil de conseguir si se tiene en cuenta la evolución reciente del sector (Mendiluce, 2010).

Por todo ello, la reducción del consumo energético del transporte y el contenido de carbono de los combustibles son claves para cumplir con los objetivos ambientales. No obstante, romper estas tendencias es complicado por la escasez de alternativas a los combustibles fósiles y el previsible crecimiento del sector. El apartado siguiente se dedica al análisis de los factores determinantes del consumo energético del transporte de viajeros.

4. Análisis de los determinantes del consumo energético del transporte de viajeros

Un enfoque útil para analizar los factores determinantes del consumo energético o de las emisiones de la economía en general o del transporte de viajeros en particular es la descomposición en factores de Kaya (Tarancón y del Río, 2007; Schmutzler, 2005; Holden y Høyer, 2005). Los determinantes del consumo energético en el transporte se suelen clasificar en tres factores: escala, modo y eficiencia.

El factor escala se refiere a la movilidad de los viajeros en todos los modos. Se puede dividir a su vez en una componente estructural y otra de actividad. El primero engloba la evolución de la propiedad de los vehículos que a su vez depende, entre otros factores, de la evolución demográfica, el empleo, los tipos de interés y la renta per cápita. La actividad se refiere a la utilización de los vehículos, es decir, a la distancia recorrida, que depende del número de viajes, la distancia de cada uno y la ocupación.

Las estadísticas reflejan de diferente forma la actividad. Así, por ejemplo, los datos de kilómetros recorridos muestran los datos del vehículo no de sus pasajeros. Sin embargo las estadísticas de movilidad recogen los viajes de las personas al margen de si lo hacen de forma colectiva o en vehículo particular. La distancia recorrida depende de la renta, de la localización de la vivienda o del centro de trabajo, de la disponibilidad de alternativas de transporte, de los precios e impuestos de los combustibles y del tipo de vehículo utilizado, entre otros. Las ciudades dispersas muchas veces no dejan alternativas al transporte en vehículo particular, de ahí la importancia de la planificación urbanística.

---

[6] Se consideran las proyecciones manejadas por el Gobierno que estiman que las emisiones de los sectores difusos aumentarán en el período 2008-2012 un 65% por encima de las del año 1990 (el 40% corresponde al transporte) y un precio del derecho de emisión de 20 euros (MINAM, 2007).

El factor modal considera el medio de transporte utilizado para satisfacer las demandas de movilidad. Las estadísticas energéticas lo clasifican en transporte aéreo, marítimo, ferrocarril y carretera. En el caso de la carretera se puede realizar en autobús, motocicleta o vehículos con motor diésel, gasolina u otros (gas o electricidad). Pero también existe la movilidad no motorizada, que incluye el transporte a pie o en bicicleta.

El factor eficiencia se refiere al consumo de energía por kilómetro recorrido. Desde el punto de vista tecnológico, éste depende del modo de transporte utilizado y de la ocupación de los mismos. La recogida de información estadística sobre la ocupación de los distintos modos de transporte es complicada. El consumo energético por kilómetro depende de factores como la eficiencia energética del motor, su potencia, su tamaño o su peso. Existen importantes variaciones entre los vehículos nuevos y los usados, que pierden eficiencia con el paso del tiempo. Otro aspecto importante es el hecho de que los test de laboratorio que miden la eficiencia energética infravaloran el consumo energético que se produce en la conducción en el mundo real, al no incluir la conducción ineficiente, la velocidad, el peso del vehículo, el uso del aire acondicionado o el estado de los neumáticos[7].

Para la aplicación de este enfoque de descomposición al caso español se puede medir el efecto actividad con los kilómetros recorridos en cada modo de transporte, el efecto modal con el medio de transporte utilizado (vehículo particular, autobús, ferrocarril, avión o marítimo) y el efecto eficiencia con el consumo energético por kilómetro recorrido.

No obstante, el principal problema para aplicar este enfoque al caso español es la ausencia de estadísticas desagregadas. En primer lugar, no se dispone de estadísticas homogéneas de los kilómetros recorridos o de la eficiencia de cada modo. En segundo lugar, los balances energéticos recopilados por la AIE no distinguen entre el transporte de viajeros y el de mercancías.

No obstante, con las estadísticas disponibles del IDAE se puede realizar la descomposición del transporte de viajeros en vehículo particular, lo cual permite avanzar en la comprensión de la mayor parte del consumo energético de este sector (80% del total)[8].

La ecuación explicativa del modelo es la siguiente:

$$T = \sum_i Di * Pi * Ei$$

donde

[7] La presión de los neumáticos, evitar acelerones y mantener la velocidad en límites moderados podría incrementar la eficiencia energética de los vehículos entre un 5% y un 20% (Gallagher *et al.*, 2010).

[8] Una parte de este transporte se destina a realizar una actividad productiva o comercial y debería distinguirse de aquel que se destina a un uso privado, pero no se dispone de esta desagregación.

T es el consumo energético del transporte en vehículo particular en kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep) en el momento temporal t,

i es el tipo de combustible utilizado (en este caso gasolina y diésel)[9],

D es la distancia recorrida por vehículo (km/vehículo) en el momento temporal t,

P es el número de vehículos en el país en el momento temporal t, y

E es la eficiencia energética de los vehículos (en ktep/km) en el momento temporal t.

La variación del consumo energético del transporte de viajeros en España entre el año 0 y el año t (ΔT) se puede descomponer de forma aditiva en los siguientes efectos:

$$\Delta T = T^t - T^0 = D_{ef} + P_{ef} + E_{ef}$$

donde:

D_{ef} = es el efecto actividad, es decir, el cambio en la distancia recorrida por vehículo para cada tipo de motor (gasolina y diésel).

P_{ef} = es el efecto estructural, o variación en la cantidad de vehículos utilizados para cada tipo de motor.

E_{ef} = es el efecto eficiencia, o variación en el consumo de energía por kilómetro en cada tipo de vehículo (gasolina o diésel).

En el apéndice se describe la formulación metodológica utilizada para la descomposición de estos factores, cuyos resultados se muestran en la tabla 3. Esta tabla muestra cómo han evolucionado estos factores entre 1990 y 2007 a lo largo de todo el periodo, y también presenta las variaciones interanuales. Así, por ejemplo, entre 2006 y 2007 el consumo energético aumentó en 306 ktep, de los que 274 fueron gasolina y 33 diésel. A su vez el aumento del consumo de gasolina se explica por un aumento de la distancia recorrida (374 ktep), un descenso del número de vehículos en circulación (-84 ktep) y descenso por la mejora de la eficiencia (-17 ktep).

El consumo de energía de los vehículos particulares aumentó en 5.340 ktep entre 1990 y 2007 (tras un crecimiento del 70%). El consumo de diesel ha sido el que más ha influido en este crecimiento (6.083 ktep), siendo la adquisición de vehículos de este tipo el principal factor impulsor de estos incrementos (aporta 6.191 ktep), puesto que la mejora de eficiencia (-155 ktep) y el ligero aumento de la distancia recorrida (47 ktep) apenas han influido en la evolución total. A su vez, los vehículos de gasolina han reducido el consumo energético total (-743 ktep), pero su contribución no ha sido muy significativa.

[9] Los biocombustibles están incluidos en estos combustibles y el consumo de otras fuentes energéticas es prácticamente nulo.

TABLA 3

RESULTADOS DE LA DESCOMPOSICIÓN DEL TRANSPORTE EN VEHÍCULO PARTICULAR

	Gasolina				Diésel				Total
	Distancia (Km.)	*Parque (nº)*	*Eficiencia (ktep/Km.)*	*Consumo (ktep)*	*Distancia (Km.)*	*Parque (nº)*	*Eficiencia (ktep/Km.)*	*Consumo (ktep)*	*Consumo (ktep)*
1990	11.344	8.623.048	6,8E-08	6.671	15.171	976.952	6,2E-08	912	**7.583**
2007	10.546	8.712.038	6,5E-08	5.928	15.411	7.765.987	5,8E-08	6.995	**12.923**
Descomposición de la variación del consumo energético en gasolina y diésel									
1991	131	115	-29	217	-1	49	-4	45	**261**
1992	334	156	-30	460	76	92	-5	164	**624**
1993	-19	-27	-31	-77	-25	82	-5	51	**-26**
1994	-948	76	-29	-900	-250	138	-5	-118	**-1.018**
1995	946	129	-30	1.045	261	164	-6	420	**1.465**
1996	-238	125	-20	-133	-94	230	-4	132	**-1**
1997	-119	75	-20	-65	174	293	-4	462	**398**
1998	-125	109	-20	-37	-29	411	-6	376	**340**
1999	116	69	-20	165	-492	442	-6	–56	**109**
2000	-163	-32	-20	-215	111	397	-6	501	**286**
2001	2	27	-20	9	133	409	-8	535	**544**
2002	-404	-36	-20	-460	248	429	-9	667	**208**
2003	215	-337	-19	-141	273	413	-11	675	**534**
2004	-232	-32	-18	-283	99	667	-13	753	**470**
2005	-183	-112	-17	-312	15	682	-15	683	**370**
2006	-202	-71	-17	-290	78	699	-16	761	**471**
2007	374	-84	-17	274	-572	622	-17	33	**306**
1990/2007	-459	65	-348	-743	47	6191	-155	6.083	**5.340**

La conclusión de este análisis es que la compra de vehículos diésel ha sido el principal factor impulsor del consumo energético del transporte en vehículo particular. A continuación se profundiza en la dieselización del parque automovilístico, la evolución de la distancia recorrida y la eficiencia energética de los vehículos. Posteriormente se analizan algunas variables que han influido en estos factores (renta per cápita, demanda de movilidad y precios).

DIESELIZACIÓN

El aumento del parque de vehículos diésel es el principal responsable del crecimiento del consumo energético. Los vehículos diésel capturan prácticamente la totalidad del aumento del parque automovilístico en España en este período, y en el año 2007 ya representaban el 47% del parque total. En el caso de la gasolina, los resultados muestran que su consumo energético se reduce como consecuencia de la disminución de la distancia recorrida y la mejora de su eficiencia.

El parque de vehículos para uso particular aumentó en este período un 70%. La práctica totalidad de ese crecimiento ha sido capturada por el segmento de vehículos diésel, mientras que el de la gasolina se ha mantenido estable.

Los motivos que podrían explicar este fuerte incremento del parque de vehículos son el aumento de población, el crecimiento económico, unos bajos tipos de interés, la tendencia hacia una modelo de urbanización dispersa y la política de transportes.

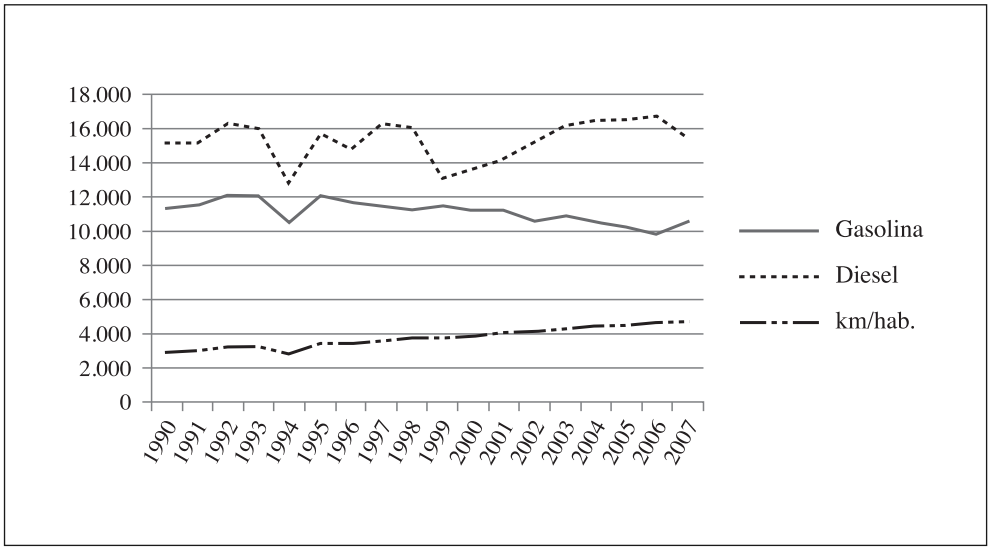
DISTANCIA RECORRIDA

Aunque los resultados muestran que la distancia recorrida por vehículo se ha mantenido estable, la distancia recorrida por habitante ha presentado un fuerte crecimiento pasando de 2.883 km/habitante a 4.738 km/habitantes en 2007, con un crecimiento más pronunciado a partir de 1999. Este crecimiento coincide con los crecimientos en desplazamientos que muestra la encuesta Movilia, realizada por el Ministerio de Fomento cada 5 años (MFOMENTO, 2002 y 2008), que muestran que la movilidad de viajeros ha crecido tanto en los desplazamientos diarios locales como en los no cotidianos (viajes a media y larga distancia). Los españoles realizan viajes cada vez más frecuentes y más largos (Mendiluce, 2010). En definitiva, los resultados de la tabla 3 muestran un crecimiento de la distancia recorrida por vehículo. Como la ocupación de los vehículos se ha reducido, la distancia por habitante ha crecido. También ha aumentado la distancia total recorrida por todos los españoles (un 88% en el período analizado).

Cuando se analizan las tendencias de distancia recorrida por tipo de vehículo (gasolina o diésel) se comprueba que los vehículos diesel se utilizan de forma más intensiva, con un promedio de 15.500 Km anuales frente a los 11.200 Km de los vehículos de gasolina. Los motivos que podrían explicar esta mayor distancia recorrida son, en primer lugar, los menores precios como consecuencia del incentivo fiscal, que se tradujo en España en un menor impuesto de matriculación para vehículos y combustible diésel, bajo el pretexto de una mayor eficiencia energética. En segundo lugar, el comprador de un vehículo diésel podría tener expectativas de una mayor utilización, en especial en el caso del transporte profesional (taxistas, vendedores, etc.) con una conducción de más de 60.000 Km. al año. En tercer lugar, las mejoras tecnológicas de los vehículos diésel a finales de los 90, la reducción de los diferenciales de precios con los de gasolina, así como los menores impuestos sobre su

FIGURA 2

DISTANCIA RECORRIDA POR TIPO DE VEHÍCULO Y POR HABITANTE



Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE, 2009.

adquisición y uso podrían haber incitado a comprar vehículos de mayor potencia y más grandes, que conducen a un mayor consumo energético. Es el denominado "efecto rebote" de la compra del vehículo, que se une al efecto rebote provocado por el aumento de la renta disponible. Así, la mayor eficiencia genera un ahorro en combustible y un aumento de la renta disponible que a su vez provoca un incremento en la movilidad (Mendiluce, 2010). Finalmente, otros factores que podrían influir en la mayor distancia recorrida de los vehículos diésel son que se utilizan más porque son nuevos y por cuestiones de fiabilidad (véase Schipper y Fulton, 2008, para un análisis más detallado de estos factores).

EFICIENCIA

El análisis de la descomposición del consumo energético ha mostrado que el factor eficiencia ha sido más importante en los vehículos gasolina que en los diésel, pero que, en cualquier caso, ha sido insuficiente para compensar el crecimiento del factor escala.

La eficiencia del transporte se puede medir de numerosas formas. Entre las más comunes están los ratios de litros de combustible por kilómetro o la energía consumida por viajero y por kilómetro. En la figura 3 se muestra la evolución de los ratios

de eficiencia energética del transporte en vehículos diésel y gasolina y en la tabla 4 se muestran las tendencias de la eficiencia energética de los distintos modos de transporte. La eficiencia de los turismos de gasolina y diésel se han incrementado, respectivamente, en un 5,4% y un 5% entre 1990 y 2007.

FIGURA 3

EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS TURISMOS EN ESPAÑA (LITROS/100 KM.)

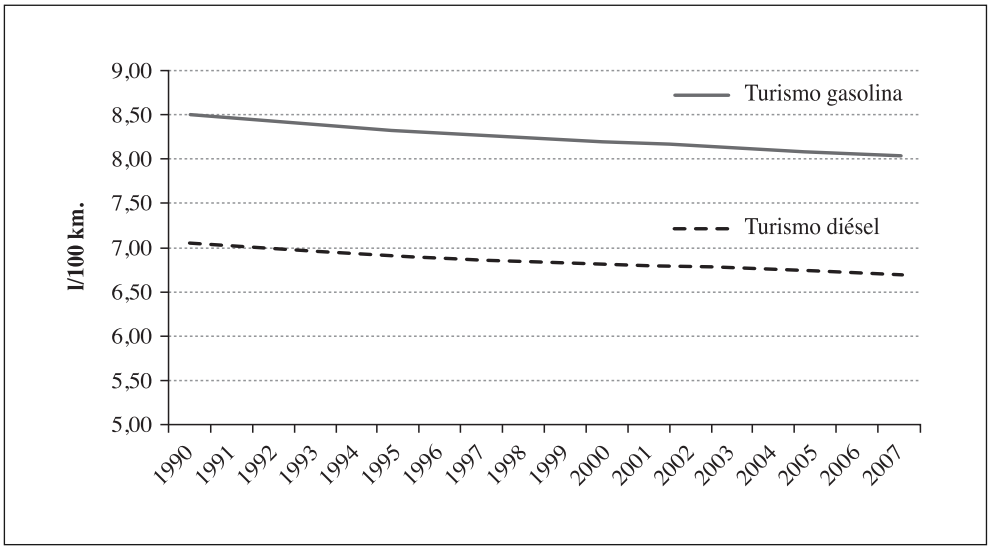


TABLA 4

EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS DISTINTOS MODOS DE TRANSPORTE DE VIAJEROS

Eficiencia Energética (tep/Mviaj-km)								
	2000	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**UE-15 - 2006**
Aéreo	108,8	103,9	93,6	91,5	92,4	95,9	95	125,7
Autómovil	46	45,6	45,2	44,8	44,4	44,1	43,6	37
Tren	18	19,1	20	21,1	22,2	23,3	23,8	9,7
Autobús	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2	5,1	8,1

Fuente: Repsol (2009).

Por lo que se refiere a la eficiencia de los distintos modos de transporte, sólo el tren empeora sus ratios, como consecuencia del incremento de los trayectos en trenes de alta velocidad (Repsol, 2009). Este estudio confirma las mejoras en la eficiencia energética de los vehículos de transporte de viajeros por carretera y su menor eficiencia energética con respecto al ferrocarril, aunque también muestra que la eficiencia del transporte por carretera es inferior a la de los países de nuestro entorno. El nivel medio de eficiencia de los vehículos en España, que depende de la antigüedad, el uso, el tamaño y el peso, es de 43,6 tep/Mviaj-km, pero esta cifra es bastante superior (es decir, peor índice de eficiencia energética) a la de la UE-15 y a las alternativas del tren (24 tep/Mviaj-km) o del autobús (5 tep/Mviaj-km).

Los expertos consideran que los desarrollos tecnológicos pueden afectar al consumo energético del transporte a través de las potenciales mejoras en los vehículos, el diseño y difusión de vehículos más eficientes, la mayor penetración de otros combustibles y la optimización del uso de las infraestructuras. Las medidas de política pública pueden influir tanto en el factor escala como en el factor tecnológico.

RENTA PER CÁPITA

Los niveles e incrementos de renta constituyen un factor clave en la adquisición de nuevos vehículos y en su utilización. La figura 4 muestra que existe una fuerte correlación positiva entre el incremento de renta y la matriculación de vehículos. La mayor disponibilidad de vehículos reduce las tasas medias de ocupación y revierte en un aumento del consumo energético. Además, una mayor renta provoca un incremento en la adquisición de vehículos más potentes, con un mayor incremento en el consumo energético. Finalmente, un aumento de la renta implica un aumento de recursos para mayor movilidad cotidiana, pero sobre todo de aquella asociada al ocio, lo que se traduce a su vez en un aumento del transporte por carretera y aéreo. La mejora de las infraestructuras, por su parte, permite reducir el tiempo de desplazamiento y aumentar la distancia recorrida (Mendiluce, 2010).

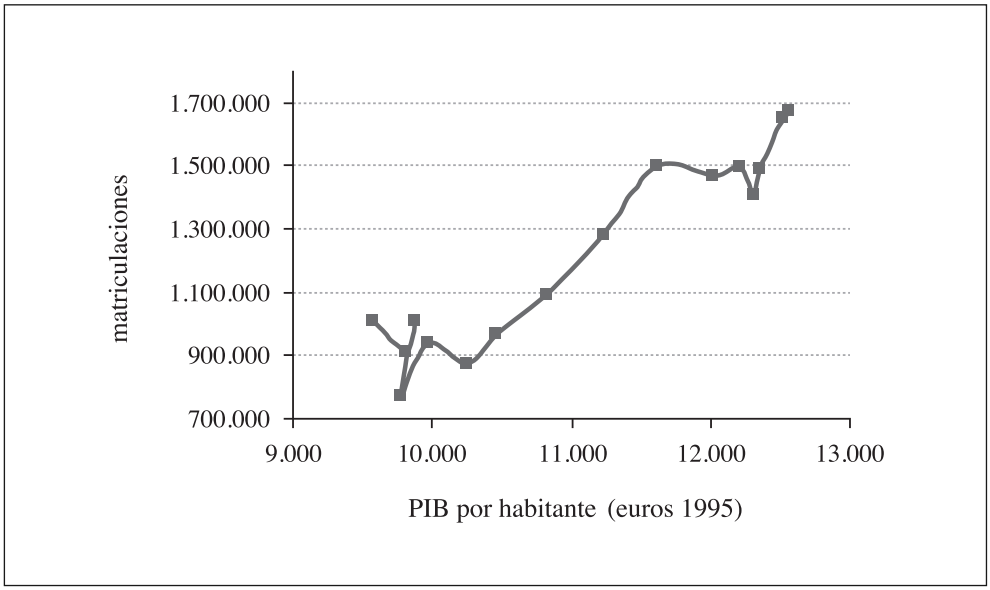
A pesar de ello, las familias españolas se sitúan todavía por debajo de la media europea con respecto a su gasto en transporte. Las familias españolas gastaron un 11,8% de su consumo final en transporte, mientras que esa cifra alcanzó el 13,6% en la UE-27 (1.800€) (Comisión Europea, 2009).

DEMANDA DE MOVILIDAD

El crecimiento de la población en el periodo analizado fue del 14%, muy por encima de la media europea (4,8%). Esto se debe fundamentalmente a la llegada de inmigrantes, que representan ahora el 10% de la población española. Un aumento de población genera unos mayores niveles absolutos de desplazamiento y por tanto un incremento en el consumo energético, tal y como se ha mostrado en la figura 1.

FIGURA 4

EVOLUCIÓN DE LAS MATRICULACIONES DE VEHÍCULOS Y DE LA RENTA PER CÁPITA EN ESPAÑA



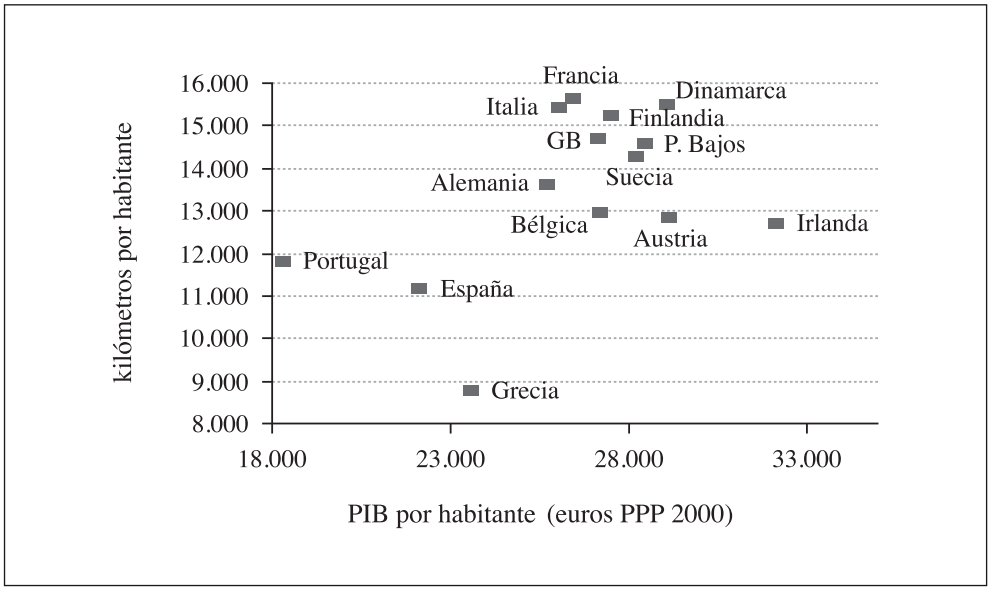
Fuente: Mendiluce, 2010.

Una cuestión relevante es investigar las características de la demanda de movilidad en España. En este ámbito, la Encuesta Movilia aporta datos interesantes sobre las pautas de movilidad cotidiana y no cotidiana. Por lo que se refiere a la movilidad cotidiana, la comparación de las dos últimas encuestas muestra que la movilidad motorizada ha aumentado un 41% entre 2000 y 2006. La mayor parte de los desplazamientos cotidianos se hacen a pie y entre los modos motorizados el coche, que crece más que otros modos de transporte, sigue dominando con un 83% de los trayectos. Un 38% de los trayectos tienen como motivo ir a trabajar o a estudiar y un porcentaje similar de los trayectos se destina a ocio, visitas a familia y amigos y paseos (Mendiluce, 2010).

La movilidad no cotidiana o de larga distancia ha crecido considerablemente. Aunque las encuestas de 2002 y 2008 no son estrictamente comparables, los datos muestran que los encuestados se mueven más veces y más lejos. Los encuestados viajan de media 8 veces al mes a una distancia de más de 50 km, es decir, viajan a algún lugar prácticamente todos los fines de semana. En torno al 50% de los viajes se realiza a una distancia de entre 50 y 100 km del lugar de residencia y un 90% a menos de 500 km. El coche sigue siendo el principal modo utilizado (78% de los viajes). A medida que la distancia aumenta se utilizan más otros medios de transporte, sobre todo el avión, mientas que el autobús y el tren reemplazan al automóvil ligeramente

FIGURA 5

COMPARACIÓN DE LOS KILÓMETROS RECORRIDOS POR HABITANTE Y LA RENTA POR HABITANTE EN LA UE-15 (2003)



Fuente: Elaboración propia a partir de AEMA (2007).

cuando las distancias oscilan entre 100 y 1000 km. El motivo principal de los viajes es el ocio (33% de los viajes), acudir a la segunda residencia (15%), visitan a familiares o amigos (17%) y vacaciones (13%) (Mendiluce, 2010).

A pesar de los crecimientos de la movilidad, ésta se sitúa todavía por debajo de la mayoría de los países de la UE-15 (figura 5), como consecuencia de la menor renta per capita de nuestro país y la mayor dispersión de las ciudades europeas.

Finalmente, las necesidades de transporte están condicionadas por la densidad y estructura espacial del entorno de construcción, así como por la ubicación, extensión y naturaleza de la infraestructura del transporte. Las tendencias recientes de urbanización en España apuntan hacia la construcción de viviendas en la periferia de las ciudades sin tener en cuenta la provisión de servicios de movilidad, lo cual incrementa el consumo energético del sector (Mendiluce, 2010).

5. Influencia de los precios de combustibles en la demanda de transporte

Las externalidades negativas relacionadas con el consumo energético mencionadas más arriba sugieren la conveniencia de aplicar políticas públicas para mitigarlas. De hecho, la situación relativa de los factores anteriores y su evolución dependen de

la aplicación de instrumentos de política pública, que generan incentivos económicos y no económicos (por ejemplo, informativos) para los actores socioeconómicos, pasajeros en nuestro caso. Existe una amplia panoplia de instrumentos para fomentar reducciones en el consumo energético en el sector transporte, que pueden agruparse en cuatro categorías: instrumentos de regulación (que incluyen límites de velocidad, requisitos de mantenimiento del vehículo, requisitos de ocupación, estándares de consumo energético por parte de los vehículos), económicos (básicamente, impuestos, peajes y subvenciones), informativos (campañas de conducción eficiente, información y educación) y otros instrumentos (planificación urbana y del transporte, acuerdos voluntarios, provisión pública e inversiones en I+D+i, entre otros). Por supuesto, existen múltiples posibilidades dentro de cada una de estas categorías de instrumentos, dependiendo de cómo son diseñados finalmente (para una descripción detallada de estos instrumentos, véase del Río y Hernández, 2008).

Dentro de los instrumentos para reducir el consumo energético en el sector transporte, los economistas tienden a defender la utilización de los instrumentos económicos y, en particular, aquellos que aportan una señal de precios, como por ejemplo los impuestos sobre los combustibles. No obstante, los instrumentos no económicos (de regulación, información y "otras" medidas) puedan jugar un papel muy relevante para atacar el factor escala y/o inducir cambios modales.

Uno de los problemas fundamentales de la aplicación de impuestos para controlar el consumo energético en el sector transporte son las bajas elasticidades precio de la demanda de combustible y las altas elasticidades renta de esa demanda.

El análisis empírico de las elasticidades precio y renta de la demanda de combustible tiene una larga tradición, existiendo varias revisiones de la literatura sobre este tema (véanse Graham y Glaister (2002), Goodwin *et al*. (2004), Goodwin (1992), Oum *et al*. (1992), Sterner *et al*. (1992) y Espey (1998)). Estos estudios muestran que las elasticidades precio son relativamente bajas a corto plazo (entre -0,2 y -0,3), y más elevadas a largo plazo (entre -0,6 y -0,8). Un reciente meta-análisis de la elasticidad precio de la demanda de gasolina identifica elasticidades medias a corto y a largo precio de -0,36 y -0,81, respectivamente (Brons *et al*., 2008). Como las elasticidades renta son relativamente altas, unos mayores niveles de renta dan lugar a aumentos en la demanda de transporte, que se cubre principalmente con transporte privado (IPCC, 2007a).

Por otro lado, los estudios sobre esas elasticidades son escasos en España, en contraste con su abundancia en otros países. Un interesante trabajo es el de Labandeira y López (2002). Sus cálculos de las elasticidades precio y renta (a corto plazo) son, respectivamente, -0,08 y 0,99. Los autores argumentan que las bajas elasticidades precio en España se deben a los bajos precios de los combustibles en el país. Un reciente estudio (del Río *et al*., 2010), basado en la utilización del modelo AIDS aplicada a la Encuesta de Presupuestos Familiares, muestra elasticidades precio de la demanda de combustible de entre -0,32 y -0,75 y elasticidades renta de entre 0,92 y 1,45.

Los impuestos representan una parte muy significativa del precio de los combustibles, pero en el caso español son inferiores a los de otros países europeos. Los

precios del diésel se situaban todavía en 2007 por debajo de los precios de la gasolina (0,742€/litro frente a 0,791€/litro (Euros de 2001)), debido al diferente tratamiento fiscal (el impuesto sobre la gasolina era de 0,429€/litro, mientras que para el diésel fue de 0,302€/litro).

Debe destacarse que la fiscalidad aplicada en España sobre los combustibles utilizados en el transporte no ha sido acertada en términos de eficiencia energética y ambiental y no favorece una asignación óptima de recursos. Concretamente, la ventaja fiscal del diésel sobre la gasolina no se sustenta en motivos medioambientales, teniendo en cuenta que el contenido energético de un litro de diésel es mayor que el de gasolina y su consumo genera más emisiones por cada kilómetro recorrido. Además, como los vehículos diésel se conducen más kilómetros de media que los de gasolina, absorben con creces el mejor rendimiento energético, por lo que un vehículo de este tipo genera 2,8 toneladas de CO_2 al año, es decir, media tonelada más que uno de gasolina[10].

Algunas de las implicaciones de política pública que se derivan de los análisis de las elasticidades son:

1) El mayor valor absoluto de las elasticidades renta comparadas con las elasticidades precio sugiere que los precios de los combustibles deben aumentar a mayor ritmo que la renta para mantener constante el consumo de combustible (Sterner *et al*., 1992);
2) Los impuestos sobre los combustibles pueden no ser muy eficaces para reducir los costes externos del transporte por carretera;
3) El diseño de instrumentos de política a largo plazo debería tener en cuenta la existencia de mayores elasticidades precio a largo plazo (Brons *et al*., 2008).

6. Conclusiones y recomendaciones de política pública

El diagnóstico de la situación y las tendencias del sector del transporte de viajeros en España elaborado en este trabajo muestra que, aunque se han logrado reducciones del consumo de combustible por kilómetro, estas mejoras se han visto más que superadas por el aumento de la actividad. La compra de vehículos diésel entre 1990 y 2007 es el responsable del fuerte crecimiento del consumo energético del transporte de viajeros unido a un aumento del transporte per cápita. En España hay cada vez más vehículos y los españoles viajan con más frecuencia y más lejos. El aumento de la población y el crecimiento de la renta per cápita podrían ser los impulsores de esta mayor movilidad, pero otros factores como los cambios socio-culturales, la tendencia reciente hacia una urbanización dispersa y los bajos precios de

[10] Elaboración propia a partir de información suministrada por ANFAC y AIE (2005) (véase Mendiluce, 2008). Se ha considerado el consumo energético y las emisiones de la conducción real, que son un 20% superiores a las que se indican en las especificaciones técnicas por el mayor consumo incurrido en circunstancias reales como son los atascos, el equipamiento, la velocidad y el aire acondicionado, entre otros.

los combustibles han podido influir también. La política fiscal de favorecer los vehículos diésel no ha dado los resultados esperados para cambiar estas tendencias.

No se ha producido un cambio hacia modos de transporte menos intensivos en el uso de la energía desde 1990. La participación de la carretera se ha mantenido constante, la del ferrocarril se ha reducido y el modo aéreo ha ganado peso. Todo ello ha provocado un incremento en el consumo energético del sector transporte y un mayor peso de este sector en el consumo total de energía. A su vez, esto ha agravado los problemas de seguridad del suministro energético en nuestro país y una mayor contribución de este sector a las emisiones de GEI, alejando a España de sus compromisos de mitigación de estas emisiones.

La fiscalidad energética aplicada en España no ha sido acertada en términos de eficiencia energética y ambiental. El incentivo suministrado por los impuestos sobre los combustibles para fomentar menores niveles de consumo energético en el sector del transporte privado de pasajeros es más bien débil. Su intención ha sido, preferentemente, recaudatoria. Finalmente, los instrumentos económicos juegan un papel residual en la actual Estrategia Española de Movilidad Sostenible (véase Gobierno de España, 2009b).

Teóricamente, los impuestos sobre los combustibles constituyen un instrumento apropiado para internalizar las externalidades relacionadas con el uso de la energía en los precios de los combustibles pagados por los usuarios del transporte. Esos impuestos pueden incentivar la adquisición de vehículos más eficientes, promover estilos de conducción más eficientes en el uso de la energía y fomentar que los usuarios del transporte cambien a modos de transporte menos intensivos en el uso de la energía (Markowska *et al*., 2009). Los impuestos sobre los combustibles inducen cambios tecnológicos y de comportamiento, mitigan el efecto rebote y tienen costes administrativos relativamente bajos. Además, permiten obtener una recaudación, que puede utilizarse bien para estimular políticas complementarias de transporte orientadas a reducir el consumo de energía (por ejemplo, modos de transporte más eficientes en el uso de la energía) o para otros objetivos sociales. En este sentido, puede ser más beneficioso desde el punto de vista social dedicar esa recaudación a reducir cotizaciones sociales o impuestos distorsionantes pre-existentes, en el contexto de la denominada reforma fiscal ecológica.

A pesar de la relativamente baja reactividad de la demanda de combustible a cambios en los precios (sugerida por las bajas elasticidades precio de la demanda de combustible), consideramos que los impuestos sobre los combustibles son necesarios (aunque no suficientes) en cualquier estrategia dirigida a reducir el consumo de energía en el transporte, pues aportan una señal de precios que puede promover cambios de comportamiento y tecnológicos a largo plazo y obtener una recaudación que puede destinarse a financiar otros instrumentos complementarios. En este sentido, el enfoque de política apropiado implica la combinación de diferentes instrumentos de forma coherente y coordinada pues es probable que cada instrumento (y no sólo los impuestos sobre los combustibles) tenga un efecto modesto en el consumo energético en este sector.

Referencias bibliográficas

[1] ABRELL, J. (2007): "Transportation and emission trading–a CGE analysis for the EU 15", Economics of Global Warming Working Paper WP-EGW-01, Dresden University of Technology, Dresde.

[2] AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE (AEMA) (2007): "Transport and environment: on a way to a new common transport policy", European Environmental Agency, Copenhague.

[3] AEMA (2008): Climate for a transport change - TERM 2007: indicators tracking transport and environment in the European Union, Copenhague.

[4] AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) (2005): Energy Prices and Taxes, Paris.

[5] AIE (2008): World Energy Outlook, Paris.

[6] AIE (2009): Energy Policies in Spain, Paris

[7] ANG, B. W.; LIU, F. L. y CHEW, E. P. (2003): "Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis", Energy Policy nº 31, pp. 1561-1566.

[8] ANG, B. W. (2005): "The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide", Energy Policy nº 33, pp. 867-871.

[9] BRONS, M.; NIJKAMP, P.; PELS, E. y RIETVELD, P. (2007): "A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand–a SUR approach", Energy Economics nº 30, pp. 2105-2122.

[10] COMISIÓN EUROPEA (2009): EU energy and transport in figures. Statistical pocketbook, Bruselas.

[11] DEL RIO, P. y HERNÁNDEZ, F. (2008): "Análisis de los procedimientos de reducción de emisiones de CO_2 en el sector del transporte de pasajeros por carretera", Ekonomiaz nº 67, pp. 234-261.

[12] DEL RÍO, P.; ROMERO, D.; JORGE-GARCÍA, M. y BURGUILLO, M. (2010): "Price and income elasticities of demand for passenger transport fuels in Spain. Implications for public policies". Congreso de la Asociación Española para la Economía Energética. Vigo, 21 de enero de 2010.

[13] ESPEY, M. (1998): "Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of Elasticities", Energy Economics nº 20, pp. 273-95.

[14] GALLAGHER, K. S.; MORROW, W. R.; COLLANTES, G. y LEE, H. (2010): "Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector", Energy Policy 38, pp. 1305-1320.

[15] GOBIERNO DE ESPAÑA (2009a): Informe económico del Presidente, Ministerio de la Presidencia, Madrid.

[16] GOBIERNO DE ESPAÑA (2009b): Estrategia Española de Movilidad Sostenible. Madrid.

[17] GOODWIN, P. (1992): "A review of new demand elasticities with special reference to short and long run eVects of price changes", Journal of Transport Economics and Policy nº 26, pp. 155-63.

[18] GOODWIN, P.; DARGAY, J. y HANLY, M. (2004): "Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review", Transport Reviews, nº 24 (3), pp. 275–292.

[19] GRAHAM, D. J. y GLAISTER, S. (2002): "The demand for automobile fuel - A survey of elasticities". Journal of Transport Economics and Policy, nº 36, pp. 1-26.
[20] HANLY, M.; DARGAY, J. and GOODWIN, P. (2002): "Review of income and price elasticities in the demand for road traffic", ESRC TSU publication 2002/13, ESRC Transport Studies Unit Centre for Transport Studies, University College, Londres.
[21] HOLDEN, E. y HØYER, K. G. (2005): "The ecological footprints of fuels", Transportation Research Part D, nº 10, pp. 395-403.
[22] IDAE (2009): *Actualización de estadísticas de transporte,* recibido en enero de 2009, IDAE, Madrid.
[23] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007a): Transport chapter. Fourth Assessment Report. Working Group III, Ginebra.
[24] IPCC (2007b): Mitigation in an intersectoral perspective chapter. Fourth Assessment Report. Working Group III, Ginebra.
[25] LABANDEIRA, X. y LÓPEZ, A. (2002): "La imposición de carburantes de automoción en España: Algunas observaciones teóricas y empíricas", Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública, nº 160 (1), pp. 177-210.
[26] MARKOWSKA, A.; VAN ESSEN, H. y KAMPMAN, B. (2009): Transport chapter on RECIPE project. The economics of decarbonisation. Potsdam Institute for Climate (PIK). Potsdam, Germany.
[27] MENDILUCE, M. (2008): "La fiscalidad en el transporte rodado como instrumento para desvincular el transporte del crecimiento económico". En: Tratado de Tributación Medioambiental, Becker, F., Cazorla, L.M. y Martínez-Simancas, J., Editorial Aranzadi, Navarra.
[28] MENDILUCE, M. (2010): *La intensidad energética en España: claves para entender su evolución*. Tesis Doctoral, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.
[29] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (MINAM) (2007): Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Madrid.
[30] MINISTERIO DE FOMENTO (2002): Encuesta Movilia 2002.
[31] MINISTERIO DE FOMENTO (2008): Encuesta Movilia 2008.
[32] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO (MITYC) (2009): La Energía en España 2008. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Secretaría General Técnica, Madrid.
[33] OEPG (*OFICINA ECONÓMICA DE PRESIDENCIA DE GOBIERNO*) (2007): Estrategia Española de Desarrollo Sostenible, *Oficina Económica de Presidencia de Gobierno*, Madrid
[34] OUM, T. H.; WATERS II, W. G. and YONG, J. S. (1992): "Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates: an interpretative survey", Journal of Transport Economics and Policy nº 23, pp. 163-187.
[35] PROOST, S. (2008): "Full Account of the costs and benefits of reducing CO_2 emissions in transport", JTRC Discussion Paper No 2008-3, ITF/OECD, Paris.
[36] REPSOL (2009): "Informe sobre la eficiencia energética en España", Fundación Repsol, Madrid.
[37] SCHIPPER, L. y FULTON, L. (2008): "Disappointed by Diesel? The impact of the shift to diesels in Europe through 2006", Transportation Research Record 2215, Dec 2009.

[38] SCHMUTZLER, A. (2005): "Transportation and the environment-perspective for future research". En: Böhringer, C. y Lange, A. (Eds.), Applied Research in Environmental Economics. Heidelberg, Springer.
[39] STERNER, T.; DAHL, C. y FRANZEÂ, M. (1992): "Gasoline tax policy: carbon emissions and the global environment", Journal of Transport Economics and Policy nº 26, pp. 109-19.
[40] TARANCÓN, M. A. y DEL RÍO, P. (2007): "Structural factors affecting land-transport CO_2 emissions: a European comparison". Transportation Research D: Transport and the Environment nº 12, pp. 239-253.
[41] VAN DENDER, K. (2009): "Energy policy in transport and transport policy". Energy Policy (en prensa).

APÉNDICE

La metodología utilizada para la descomposición del consumo energético del transporte de viajeros se basa en el índice divisia de media logarítmica (LMDI I en sus siglas en inglés).

En general, la descomposición de un agregado puede agregarse de acuerdo a la siguiente formulación (véase Ang *et al.*, 2003, para más detalle). Supongamos que V es un agregado con sus factores explicativos,

$$V = \sum_i x_{1,i}\, x_{2,i} \;\ldots\ldots\; x_{n,i} \qquad \text{y} \qquad V_i = x_{1,i}\, x_{2,i} \;\ldots\ldots\; x_{n,i},$$

donde el subíndice i denota un atributo del agregado como puede ser un sector económico o un tipo de combustible. El agregado varía entre el momento temporal 0 y T, es decir desde

$$V^0 = \sum_i x^0_{1,i}\, x^0_{2,i} \;\ldots\ldots\; x^0_{n,i} \qquad \text{hasta} \qquad V^T = \sum_i x^T_{1,i}\, x^T_{2,i} \;\ldots\ldots\; x^T_{n,i}.$$

Esta variación se puede descomponer en varios factores de forma multiplicativa o aditiva. Se muestra aquí la formulación aditiva por su facilidad para la interpretación de resultados:

$$\Delta V = V^T - V^0 = \Delta V_{x1} + \Delta V_{x2} + \ldots\ldots + \Delta V_{xn}$$

$$\Delta V_{xk} = \sum_i L\left(V_i^T,\, V_i^0\right) \ln\left(\frac{x^T_{k,i}}{x^0_{k,i}}\right)$$

$L(a,b)$ es la media logarítmica de dos números positivos a y b para el que

$$L(a,b) = \frac{a - b}{\ln a - \ln b} \text{ para } a \neq b \qquad \text{y} \qquad L(a,b) = a \text{ para } a = b$$

En el caso concreto que aquí se propone, la variación del consumo energético del transporte $\left(T^T - T^0\right)$ se puede descomponer en tres factores, la distancia recorrida (D), el parque de vehículos (P) y la eficiencia energética (E). Su descomposición en la formulación aditiva sería la siguiente:

$$T^T - T^0 = \left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{D_i^T}{D_i^0}\right) + \left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{P_i^T}{P_i^0}\right) + \left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{E_i^T}{E_i^0}\right)$$

donde,

$$w_i^{T*} = L\left(T_i^o, T_i^T\right) = \left(T_i^T - T_i^o\right) \Big/ \left(\ln\left(T_i^T\right) - \ln\left(T_i^o\right)\right)$$

El factor de ponderación es la media logarítmica del consumo energético del transporte en vehículo particular. Este factor de ponderación tiene la ventaja de aportar una descomposición perfecta y consistente en agregación (véase Ang, 2005, para un mayor detalle de las ventajas de esta metodología).