

UNA POLÍTICA *EFICIENTE* PARA MEJORAR LA *EFICIENCIA* ENERGÉTICO-AMBIENTAL DEL TRANSPORTE

Andrés Monzón

Catedrático de Transportes- TRANSyT

Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid

Pedro Pérez

Investigador Juan de la Cierva

TRANSyT-Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

Una de las preocupaciones de la política de transportes es lograr una reducción sustantiva de las emisiones de CO₂ y de contaminantes atmosféricos. La eficiencia energética del sector ha crecido claramente: la carretera ha reducido sus consumos unitarios un 40% para mercancías y un 8% para viajeros; el ferrocarril mejoró un 29% en viajeros y empeoró un 5% en mercancías, etc. Pero, los crecimientos de la demanda han sido muy elevados en el último decenio: 80% en viajeros y un 60% mercancías, lo que explica el crecimiento de GEI del sector y la no reducción significativa de emisiones.

Sin embargo, los diferentes medios de transporte tienen una muy diversa responsabilidad en el global de emisiones, por lo que no está justificada, al menos desde el punto de vista de la reducción de emisiones, la política del Libro Verde del Transporte de 2001 de la UE, presentando la transferencia modal carretera-ferrocarril, como clave de la mejora energética y ambiental. Los medios públicos de transporte de viajeros tienen una eficiencia similar a los ferroviarios; siendo el coche particular el que hace cambiar la proporción. Similarmente, en el transporte de mercancías el camión presenta eficiencias similares al tren, siendo las furgonetas las que desequilibran el sector con emisiones unitarias muy superiores.

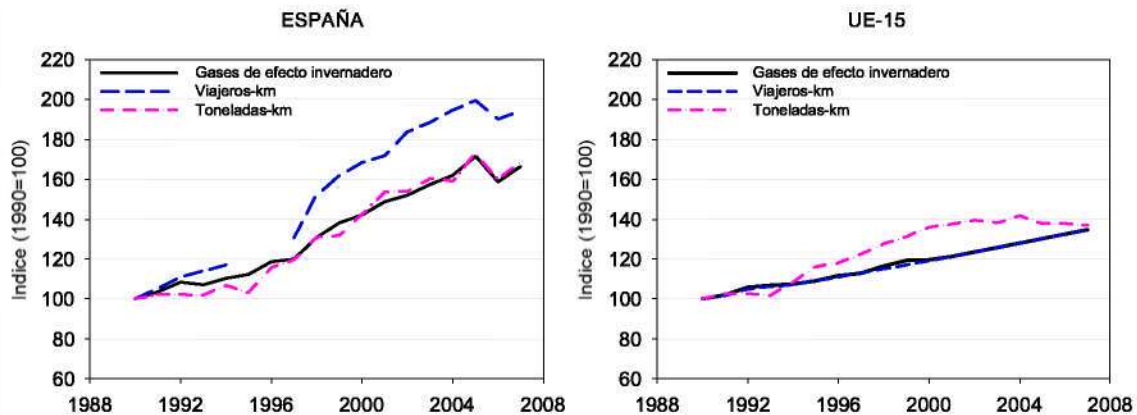
Por tanto, no hay un modo más ineficiente, sino medios ineficientes, incluso dentro del mismo modo. Por lo tanto, la política del sector debería establecer medidas para reducir el uso de los vehículos de carga pequeños y del coche particular. Por el contrario, desde el punto de vista de la eficiencia energético-ambiental no están justificadas las medidas para reducir el transporte por carretera en su conjunto. Esto supone un cambio en las estadísticas que suelen dar resultados por modos, agrupando todos los medios –eficientes e ineficientes– en un mismo dato agregado.

La mejora de la eficiencia energético-ambiental debe llevarnos a cambiar el paradigma de culpabilizar a la carretera, por la de culpabilizar a los vehículos pequeños y poco eficientes y la baja ocupación.

1 La demanda de Transporte en España

Analicemos, en primer lugar, la evolución de la demanda, tanto en viajeros, como mercancías, que, como se desprende de la figura siguiente, ha sufrido en España un crecimiento mucho más acelerado que en el resto de los países de nuestro entorno. Hay dos diferencias significativas: por un lado que nuestros crecimientos han sido mucho mayores, y que el aumento mayor se ha dado en la movilidad de viajeros.

Figura 1: Evolución demanda de transporte y GEI en España y en Europa 1990-2007



Fuente: elaboración propia a partir de Informe TERM-AEMA (2008)

Este escenario de crecimiento de la demanda ha de tenerse en cuenta si se quieren analizar los crecimientos de emisiones con una base científicamente sólida. Cuando se produce una duplicación de la demanda en tan sólo dos décadas, es difícil adecuar la oferta y gestionar adecuadamente la demanda. Por tanto, la carretera ha absorbido los crecimientos demandados, aumentándose aún más los desequilibrios modales, en contra de lo que propuesto por la Unión Europea (CE, 2001).

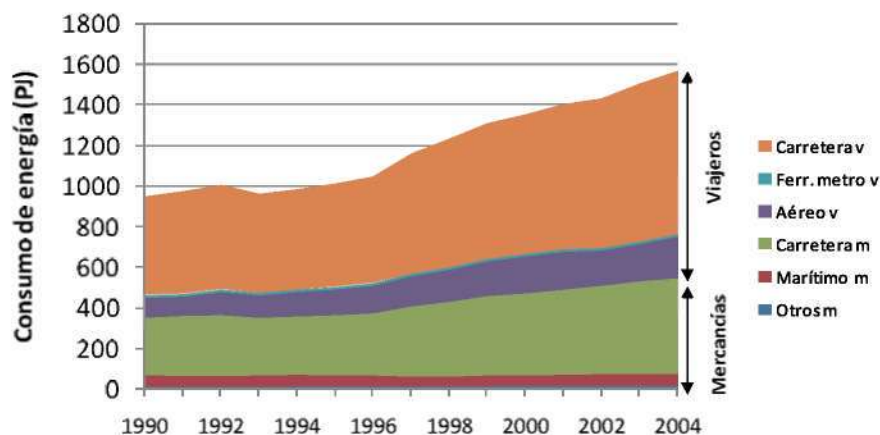
2 Emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos

Analicemos separadamente la evolución de la eficiencia energética y ambiental del sector transporte.

2.1 Consumos energéticos y GEI

En 1990, el transporte en España consumía el 39.5% de la energía primaria y en 2006 el 42,2% (Ministerio de Fomento, 2008). En 2006, el consumo final energético del sector transporte fue algo más de 41 millones de tep (toneladas equivalentes de petróleo). Además de ser el sector económico con mayor consumo final energético, el transporte es el sector con mayor consumo procedente de derivados del petróleo (73,1% en 2006). La evolución de estas cifras se recoge en la figura siguiente. La Unión Europea asumió en el Protocolo de Kioto una reducción de emisiones de GEI en su ámbito de un 8%, respecto a los niveles de 1990, para el horizonte temporal 2008-2012. En la distribución se asignó a España, en proceso de crecimiento entonces, un aumento del 15% en dicho período, que ya se ve que ha sido ampliamente superado en el momento actual.

Figura 2: Evolución del consumo energético del transporte en España 1990-2004



Fuente: TRAMA (2008)

En términos absolutos, las emisiones de GEI procedentes del transporte han crecido en el periodo 1990-2007 un 66% (Ministerio de Medio Ambiente. 2008), a un ritmo anual de 3,2%. El crecimiento es debido fundamentalmente al transporte de viajeros en automóvil y al transporte de mercancías por carretera. El transporte por carretera es responsable del 83% del total de las emisiones del sector (2007). Según el Inventario Nacional de Emisiones, en el año 2006 hubo una contracción de las emisiones de GEI, como consecuencia de la reducción del transporte de viajeros y mercancías. Sin embargo, en el año 2007 hubo un nuevo repunte de las emisiones asociado a un nuevo crecimiento del transporte. Todavía no hay datos para saber con exactitud los efectos de la actual crisis económica, pero las indicaciones apuntan con claridad a una reducción de los consumos.

Tabla 1: Consumo de petróleo por modo y combustible, España 2007

Modo de transporte		Tráfico Interurbano (10 ⁶ veh-km)	Parque total (vehículos)	Consumo (10 ⁶ litros)			Consumo medio (l/100 km)
				Interurbano	Urbano	Total	
gasolina	Motos	1.751	2.311.346	113	61	174	6,4
	Furgonetas	7.317	676.665	999	250	1.248	13,5
	Coches	55.912	11.624.686	5.251	1.481	6.732	9,2
	Todos	64.980	14.612.697	6.363	1.795	8.158	9,5
diesel	Camiones	35.510	2.765.919	10.548	673	11.221	29,5
	Autobuses	1.660	61.039	467	64	530	28,0
	Furgonetas	19.020	1.759.041	2.249	750	2.999	11,7
	Coches	135.566	10.135.488	9.642	4.967	14.609	7,0
	Todos	191.756	14.660.448	22.906	6.454	29.366	11,7

Fuente: elaboración propia a partir de D.G. Carreteras Anuario 2008, Ministerio de Fomento Informe Anual 2008a, Dirección General de Tráfico Anuario 2008, Agencia Tributaria-Ministerio de Economía 2008.

El modelo de consumo energético debe incluir no sólo la energía directa, empleada en producir el desplazamiento, sino también la energía indirecta, necesaria para que ese desplazamiento sea posible (construcción y mantenimiento de infraestructuras y vehículos, etc.). La contribución al consumo de energía indirecta difiere entre los distintos modos de transporte, tipos de vehículos y categorías de infraestructuras (Saari et al. 2007; van Wee et al. 2005). Van Wee estimó que se utiliza del orden de cuatro veces más energía en operar un vehículo de carretera (durante la vida útil del vehículo) que en fabricarlo. En las ciudades españolas, el consumo de energía indirecta en los modos de transporte ferroviarios es del 40-50% y en los modos de transporte por carretera representa el 30-45% del consumo de energía directa (Zamorano et al. 2004). Similarmente, se estimó el consumo de energía indirecta que, dependiendo del modo de transporte, varía entre el 18% (camiones pesados articulados) y 44% (ferrocarril) para el transporte de mercancías. Por consiguiente, es importante tener en cuenta la energía indirecta al hacer cálculos de consumo y eficiencia energéticos. Así, aunque el ferrocarril tiene una eficiencia energética del orden de 3 veces mayor con respecto a la carretera en consumo de combustible, su eficiencia energética de producción es del mismo orden de magnitud que la de los camiones pesados articulados, por lo que su eficiencia energética total es únicamente 2 veces mayor.

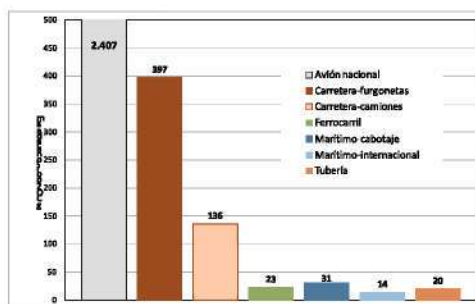
Tabla 2: Consumo energético total del transporte de mercancías
(incluye el consumo global del operador)

Modo	Consumo energético (MJ/tonelada-kilómetro)			Consumo indirecto (%)
	Producción ¹	Combustible ²	Total	
Marítimo de cabotaje	0,1	0,3	0,4	0,25
Ferrocarril pesado, público	0,4	0,5	0,9	0,44
Camiones pesados articulados	0,3	1,4	1,7	0,18
Camiones pesados rígidos	1,1	3,5	4,6	0,24
Furgonetas	16,8	32	48,8	0,34
Avión, vuelos internacionales	5,4	24,1	29,5	0,18
Avión, vuelos nacionales	19,5	34,1	53,6	0,36

Nota: 1 incluye los costes de operación y del capital de las industrias de transporte y de los hogares domésticos privados (compra de vehículos, mantenimiento de vehículos, labores administrativas, etc.) e inversiones públicas de las Administraciones en el sistema de transporte (construcción de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, puertos, etc), 2 Incluye la energía primaria consumida por el transporte directamente y la energía utilizada en la producción de los combustibles (extracción de carbón, petróleo y gas, refino de petróleo, distribución del gas y generación de electricidad).

Sin embargo, los modos y el ámbito de utilización tienen un comportamiento energético bien diferente, como puede verse en la figura siguiente relativa al transporte de mercancías. Conviene señalar las diferencias entre dos medios de transporte por carretera: el camión es 3 veces más eficiente que la furgoneta, por lo que no se puede generalizar hablando de la carretera en su conjunto.

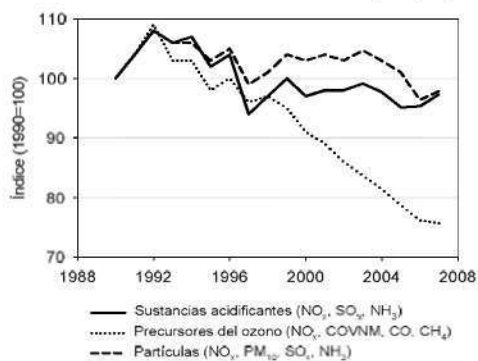
Figura 3: Eficiencia de los medios de transporte de mercancías en emisiones de GEI



2.2 Contaminantes atmosféricos

Analicemos la evolución de la eficiencia ambiental del sector. La contaminación atmosférica debida al transporte es responsable de distintos costes ambientales e impactos sobre la salud humana, los edificios y las producciones agrícola y forestal. En relación a la salud, existe una preocupación creciente principalmente sobre las emisiones óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas en suspensión con tamaños y composiciones químicas variables, compuestos orgánicos volátiles sin metano (COVNM) y, en menor medida, monóxidos de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y precursores del ozono troposférico.

Figura 4: Emisión de contaminantes atmosféricos del transporte, España, 1990–2007



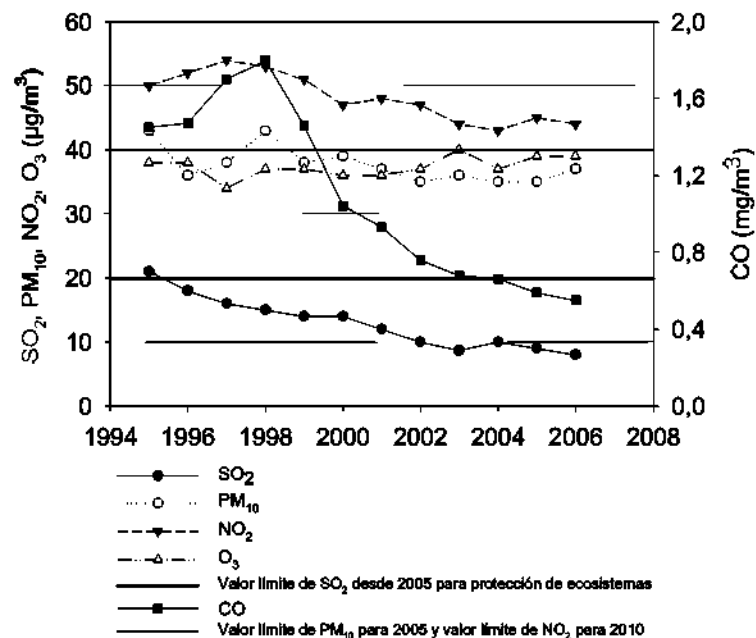
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental.

Nota: Se incluyen las emisiones de todos los contaminantes atmosféricos del transporte incluidos en SNAP 7 (transporte por carretera) y 8 (otros modos de transporte y maquinaria móvil). Se excluyen las emisiones del transporte internacional marítimo y aéreo. Para más información consultar EMEP (2000).

Las emisiones de contaminantes atmosféricos siguen una tendencia decreciente de manera continuada, incluso las partículas, y las sustancias acidificantes se suman a esta tendencia en los últimos años, como puede verse en la figura. En el total del período 1990-2007 se han reducido o estabilizado todas las emisiones de contaminantes, a pesar del incremento en la demanda de transporte: las sustancias acidificantes disminuyeron un 3,2%, las precursoras del ozono un 24,3% y las partículas materiales (PM₁₀) un 3,1%. La introducción de los estándares europeos de emisión en automóviles nuevos, y de calidad de los combustibles (especialmente debido a las concentraciones reducidas de azufre), han tenido un impacto positivo significativo.

De los contaminantes atmosféricos recogidos en la figura anterior, el más preocupante, especialmente en zonas urbanas, son los óxidos de nitrógeno, que van asociados a la emisión de partículas. Hay dos causas que explican la tendencia más estable de los niveles de NO₂: el incremento de vehículos de gasóleo y el incremento de la fracción de NO_x emitido como NO₂, desde el año 2000. A pesar de la tendencia descendente, en muchas ciudades se sobrepasan los valores límite debido a la contaminación por partículas (PM₁₀) y por óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes del tráfico. En España, la serie de datos 1995-2006, procedentes de estaciones urbanas de control de contaminación debida al tráfico, indican que las concentraciones tanto de NO₂ (límite 2010) y PM₁₀ (límite 2005) superan en muchos casos los valores límites en ciudades.

Figura 5: Concentración media anual de SO₂, PM₁₀, NO₂, O₃ y CO (1995-2006)



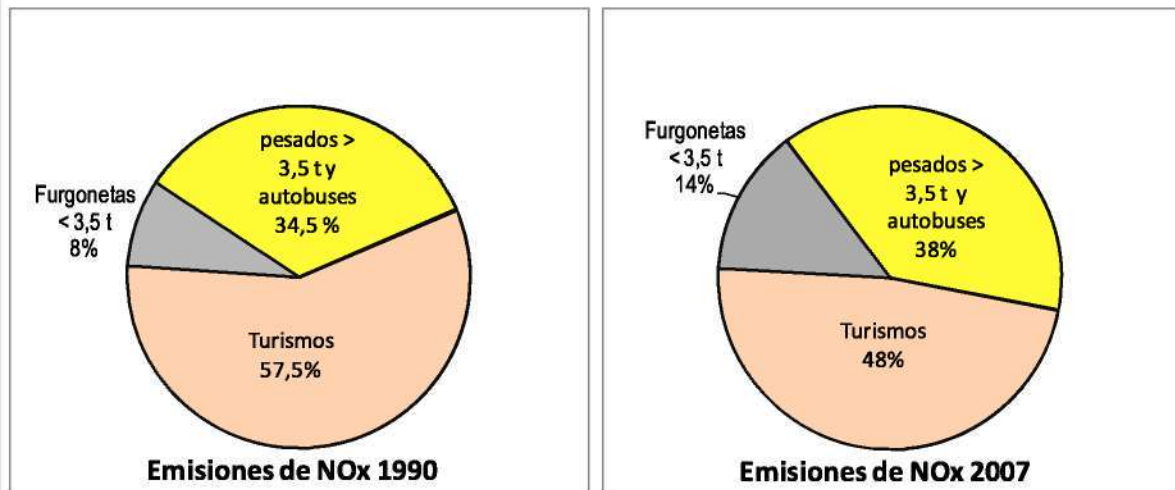
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental 2008

Nota: Las concentraciones son valores medios de las estaciones de zonas urbanas, donde la contaminación procedente principalmente de los vehículos. Las líneas horizontales de referencia roja y azul representan los valores límite anuales fijados por la Unión Europea para SO₂ (2005) y PM₁₀ (2010) respectivamente.

Pero no todos los modos contribuyen de manera, como puede verse en la figura siguiente,

que pone de manifiesto el negativo peso de la contaminación producida por las furgonetas. En efecto, si se analizan las emisiones de óxidos de nitrógeno (grupo SNAP 7), se puede comprobar que las emisiones de NOx de las furgonetas han crecido un 67%, al ser vehículos con menos control de mantenimiento y que no pertenecen, en general, a flotas bien mantenidas.

Figura 6: Proporción de emisiones de NOx del transporte por carretera según tipo de vehículo (1990-2007)



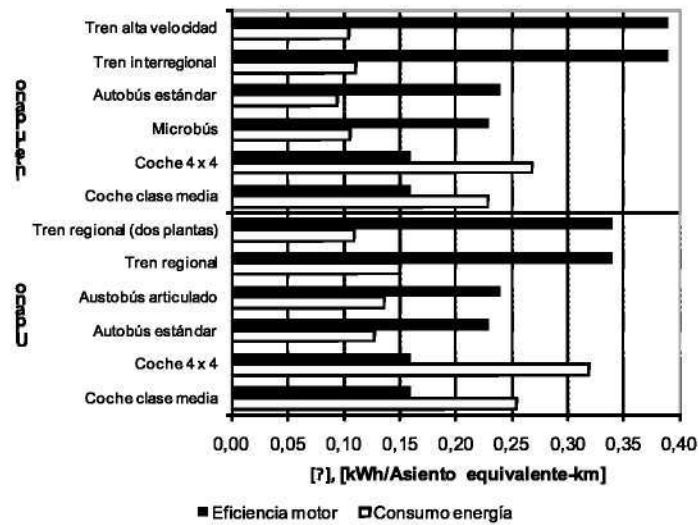
3 Necesidad de un cambio en el modelo de movilidad

En conclusión, podemos constatar que, a pesar del esfuerzo de los fabricantes de vehículos y de carburantes por mejorar la eficiencia de los motores y combustibles, la reducción de consumos y emisiones queda ampliamente compensada por el aumento de la movilidad y por el cambio de tipología de vehículos. Ya hemos visto los efectos negativos del aumento de transporte de mercancías en furgonetas.

De igual modo podemos ver, en el caso de viajeros de la figura siguiente, que no todos los modos se comportan de manera igualmente eficiente. Así, los modos ferroviarios tienen una eficiencia real mucho menor que la teórica, por sus consumos indirectos y por la dificultad de lograr máximas ocupaciones en todos los servicios. De este modo, resulta que en la práctica un autobús resulta tan eficiente energéticamente que un modo ferroviario, tanto en ámbitos urbanos como interurbanos.

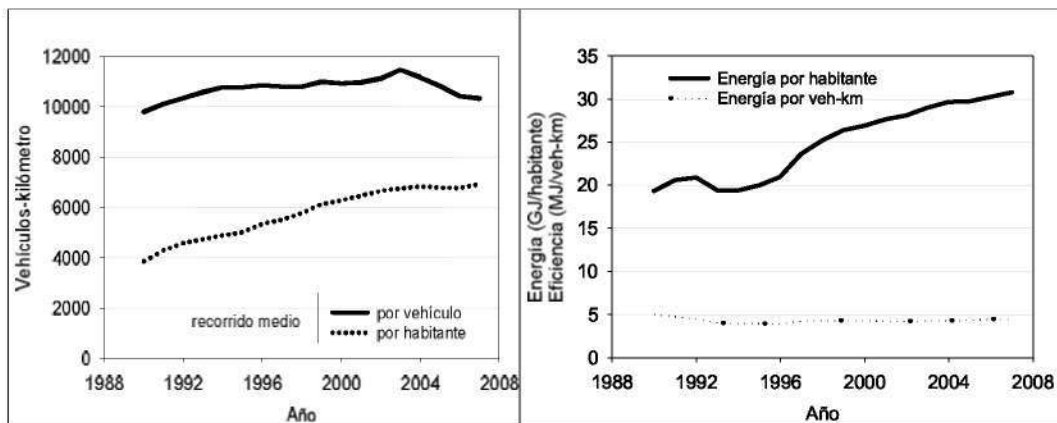
Otro dato interesante de la misma figura es los superiores consumos energéticos de los vehículos todo terreno, en particular cuando se utilizan en recorridos urbanos.

Figura 7: Consumo energético y eficiencia nominal, según vehículo y recorrido



Pero no sólo hay que buscar vehículos más eficientes y el modo adecuado a cada relación de transporte, para obtener una mayor eficiencia energética. El consumo final dependerá, sobre todo, del uso que se haga de los vehículos; es decir, cuántos viajes motorizados hacemos y a qué distancia. Así, la figura siguiente muestra que la distancia total recorrida por todos los vehículos de se dobló, pasando de 154 miles de millones vehículos-kilómetro en 1990 a 313 en 2007. Es interesante ver que la distancia media recorrida por vehículo permanece constante en unos 10.700 km/año, a pesar de que el parque ha crecido en un 50% en 17 años. Por otra parte, el recorrido medio por habitante ha aumentado el 80%: se hacen más viajes por persona y a distancias mayores. Se ha pasado de recorrer 3.851 kilómetros por habitante y año, a 6.927 km, con el consiguiente aumento de consumos y emisiones de GEI.

Figura 8: Evolución de los recorridos medios por vehículo y habitante y de los consumos energéticos por habitante y vehículo-km



Por otra parte, el consumo medio por vehículo resulta prácticamente constante, lo cual

indica que la mayor eficiencia de los motores y combustibles, se compensa con un aumento de la potencia media de los motores. Consecuentemente, el consumo de energía por habitante está aumentando paralelamente a los vkm por habitante. El consumo de energía por habitante ha pasado de 19 GJ en 1990 a 31 GJ en 2005. Aunque ha mejorado la eficiencia de los motores y carburantes, al tiempo ha aumentando la potencia y tamaño de los automóviles, por lo que no ha habido ganancias netas en consumos medios por vehículo-km, que siguen en torno a los 5 MJ/vehículo-km (12 l/100 km). Estos resultados coinciden con los de Schipper (2007), el cual analiza las tendencias de consumos y emisiones de GEI de los automóviles en los países desarrollados e industrializados.

4 Conclusiones

La lógica de la sostenibilidad se debe demostrar en la práctica y para ello hay que cambiar algunos paradigmas sobre la eficiencia energético-ambiental de los modos de transporte. Así, no parece correcto comparar carretera-ferrocarril, sino cada uno de los medios de transporte, pues tanto el camión de mercancías como el autobús de viajeros pueden ofertar rendimientos energéticos similares a los del ferrocarril, por ejemplo, según qué trayectos y niveles de ocupación.

El otro cambio de paradigma se ha de referir a nuestra conducta de movilidad. El esfuerzo por la mejora tecnológica de producir coches con menos consumos y usando combustibles más eficientes, se pierde si se adquieren injustificadamente coches de mayor la potencia nominal y se recorren cada vez mayores distancias por persona.

Parece claro que las políticas de eficiencia energético-ambiental del sector transporte pasan por reducir el peso de las furgonetas en la distribución de mercancías, y por reducir el uso del automóvil, sobre todo con bajas ocupaciones. Todo un cambio de cultura de movilidad como reclama el Green Paper del Transporte Urbano (CE, 2007).

5 Referencias

- ACEA Asociación Constructores Europeos Automóviles (2006): «European Automobile Industry Report. ACEA's Annual Tax Guide», Bruselas, pp. 5.
- AEMA Agencia Europea Medio Ambiente (2008): «Transport and environment: facing a dilemma. TERM 2007», en: Janse, P. (ed.), «Environmental issues series No 3», Copenhagen, pp. 52.
- BOUWMAN, M.E. Y MOLL, H.C. (2002): «Environmental analyses of land transportation systems in The Netherlands». Transportation Research Part D: Transport and Environment 7, 331-345.
- BROWNE, M., C. RIZET, S. ANDERSON, J. ALLEN, AND B. KEITA: «Life cycle assessment in the supply chain: a review and case study», en: Transport Reviews, Vol. 25, No. 6, 2005, pp. 761-782.
- CE (2001): «European Commission's Transport White Paper. European transport policy for 2010: time to decide».
- (2005): «Green Paper on energy efficiency. Doing more with less».
- (2006): «Keep Europe moving – sustainable mobility for our continent, Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper».
- (2007): «European Commission's GREEN PAPER - TOWARDS A NEW CULTURE FOR URBAN MOBILITY» COM/2007/055.
- ECMT (2007): «Cutting transport CO₂ emissions: what progress?», European Conference of Ministers of Transport, OECD publications, Paris, pp. 264.

- EMEP y CORINAIR, (2007): «EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition IX/2007. Technical report No 30 . 2007». Copenhagen, European Environment Agency, EEA. Technical report.
- ENERMA y CNE, (2008): «Energía y Medio Ambiente en España». San Miguel, M. y Aguirre, M (eds). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica, Madrid.
- GOODWIN,P., J. DARGAY, Y M. HANLY (2004): «Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review», *Transport Reviews* 24, Taylor and Francis, London, 275-292 pp.
- GREENE,D.L. Y S.E. PLOTKIN (2001): «Energy futures for the US transport sector», en: *Energy Policy* 29, Elsevier, Amsterdam, 1255-1270 pp.
- IDAE (2008): «Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España E4», Madrid, 212 pp.
- KAMAKATÉ, F. Y L. SCHIPPER (2008): «Trends in truck freight energy use and carbon emissions in selected OECD countries from 1973 to 2003», *Transportation Research Board, TRB, Washington*.
- KWON,T.H. Y J. PRESTON (2005): «Driving Forces behind the Growth of Per-capita Car Driving Distance in the UK, 1970 to 2000», en: *Transport Reviews* 25, Taylor and Francis, London, 467-490 pp.
- LÉONARDI, J., C. RIZET, P.J. PÉREZ, R.W. WORTH, Y A.C. MCKINNON (2007): «The vehicle approach for freight transport energy and CO₂ analysis». Presented at COST355 WG1 meeting, Madrid.
- LÉONARDI,J. Y M. BAUMGARTNER (2004): «CO₂ efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential», *Transportation Research D: Transport and Environment* 9, Elsevier, 451-464 pp.
- LUTSEY, N., Y D. SPERLING (2005): «Energy efficiency, fuel economy, and policy implications». In *Transportation Research Record No. 1941, TRB, Washington, D.C.*, pp. 8-17.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2008a): «Los transportes y los servicios postales. Informe anual 2007», Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, Madrid, pp. 390.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2008b): «Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera 2007 y 1994», Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, D. G. de Programación Económica, Madrid, pp. 220.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2008): «Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España- Edición 2008 (serie 1990-2007), Subdirección General de Calidad Ambiental, Madrid, pp. 30.
- MINISTERIO DEL INTERIOR (2008): «Anuario Estadístico General 2007», D.G.Tráfico, Madrid, pp. 61.
- PASI, S (2007) : «Trends in road freight transport 1999-2005». *Transport statistics in focus*, Eurostat, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- PÉREZ,P.J. Y A. MONZÓN (2008): «Informe sobre transporte y medio ambiente. Trama 2008», Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 34.
- PÉREZ,P.J. Y I. OTERO (2006): «Environment and transport indicator system in Spain. Are we tending towards sustainability?», en: R. JOUMARD (ed.), «Environment and Transport - Transport and Air Pollution, 2nd Conference Reims, 12-14 June 2006», INRETS, Les Collections de L'Inrets, Bron Cedex, France, 60-65 pp.
- PÉREZ-MARTÍNEZ,P.J. (2007): «Mobility and environment in Spain», en «Highway and Urban Environment, Proceedings of the 8th Highway and Urban Environment Symposium», Springer, Dordrecht, 35-43 pp.
- PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J (2009): «The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain», en: *Eur. Transp. Res. Rev.*, Vol. 1(2), 2009, pp. 75-85.
- RENFE, (2008): «Sustainability report». RENFE. Gabinete de Calidad y Medio Ambiente. Madrid.
- RODENBURG,C.A., B. UBBELS Y P. NIJKAMP (2002): «Policy scenarios for achieving sustainable transportation in Europe», en: *Transport Reviews* 22, Taylor and Francis, London, 449-472 pp.
- SCHAFFER,A. Y D.G. VICTOR (1999): «Global passenger travel: implications for carbon dioxide emissions», en: *Energy* 24, Elsevier, Amsterdam, 657-679 pp.
- (2000): «The future mobility of the world population», en: *Transpn Res.A* 34, Elsevier, Amsterdam, 171-205 pp.
- SCHIPPER,L., L. SCHOLL Y L. PRICE (1997): «Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992», en: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2, Elsevier, Amsterdam, 57-76 pp.
- SPERLING,D. (2004): «Environmental impacts due to urban transport», en «Urban Transport and the Environment. An International Perspective», Elsevier, Oxford, 99-189 pp.
- TRENDS (2003): «Calculation of indicators of environmental pressure caused by transport, Main report», European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- VAN WEE,B., P. JANSE Y R. VAN DEN BRINK (2005): «Comparing energy use and environmental performance of land transport modes», *Transport Reviews* 25, Taylor and Francis, London, 3-24 pp.
- ZACHARIADIS, T., Y SAMARAS, Z. (2001), «Validation of road transport statistics through energy consumption calculations», *Energy* 26 (5), 467-491 pp.
- ZAMORANO, C., BIGA, J., Y SASTRE, J. (2004), «Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano», CRTM, Madrid.