

¿Crisis económica y mayor eficiencia?

Análisis de las emisiones GEI del transporte por carretera en España

Natalia Sobrino Vázquez

Investigador pre-doctoral, Centro de Investigación del Transporte TRANSyT-UPM,
España

RESUMEN

En las últimas décadas, la actividad de transporte en España ha aumentado significativamente, y muy notablemente el transporte por carretera. Esto ha provocado algunos problemas energéticos y medioambientales tales como las inestabilidades en el suministro del petróleo o las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) precursoras del calentamiento global. Sin embargo, en los últimos años España ha venido marcada por la crisis económica, afectando al transporte por carretera. El presente estudio analiza los principales determinantes de la evolución de las emisiones GEI del tráfico de carretera durante el comienzo de la crisis económica en España. Para ello, se propone un marco metodológico apoyado en el análisis mediante índices de descomposición modificados de Layspeyres, y donde se definen diferentes indicadores. La metodología se aplica al caso de estudio del transporte por carretera en España para el período 2007-2010. Los resultados muestran como las emisiones del transporte por carretera han estado estrechamente vinculadas al desarrollo económico. La disminución de emisiones GEI en dicho período ha sido del 15% y los principales determinantes han sido la eficiencia energética, la reducción en la demanda de la carretera, la disminución de la renta y el desempleo. Se pone de manifiesto, que a pesar del éxito de las medidas de eficiencia energética, el reto es desvincular el crecimiento económico con el aumento del uso de transporte por carretera, a través de políticas que fomenten el uso de modos más eficientes, aumento de la ocupación de vehículos o la gestión eficiente de la capacidad de carreteras.

1. INTRODUCCIÓN

España ocupa el quinto puesto de los 27 países europeos en términos de consumo de energía del transporte por carretera y es el decimosegundo en términos de consumo de energía por habitante (EUROSTAT, 2013a). Los problemas energéticos y medioambientales causados por el tráfico rodado tales como: la gran dependencia energética de España de fuentes de energía no renovables (principalmente petróleo), la contaminación atmosférica y el calentamiento global; están siendo las principales preocupaciones en las políticas de transporte sostenible. Un sistema de transporte sostenible requiere que el movimiento de personas y mercancías se produzcan en un medio

ambiental, social y económicamente viable: la movilidad de cualquier propósito deber ser considerado como un medio y no un fin (WCED, 1987). En el caso de España, las medidas de mitigación del cambio climático en el transporte por carretera se han aplicado a través de diferentes estrategias de ahorro y eficiencia energética, iniciadas a partir de 2004. El actual *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020* (IDAE, 2011) tiene como objetivo reducir el consumo total de energía en un 20% en 2020. Un tercio de esta reducción ha de lograrse en el transporte por carretera.

En las últimas décadas el transporte en España ha aumentado significativamente, y muy notablemente el transporte por carretera. De 1990 a 2010, la movilidad de viajeros por carretera (en pasajeros-km) aumentó un 48.65% y la actividad del transporte de mercancías (en ton-km) un 64,8% (Ministerio de Fomento, 2012). Además, el gran impulso por tener una fuerte red de carreteras de alta capacidad –en 2010 la longitud total de red de alta capacidad es 3,11 veces que la red de 1990- ha dado lugar a un aumento de la demanda del transporte por carretera con respecto a otros modos. La principal consecuencia es que el tráfico por carretera sigue siendo el modo que mayor cantidad de energía no renovable consume, representando el 80% del consumo total de energía del transporte en España (ODYSSEE, 2012) y en la misma proporción es el principal modo de transporte emisor de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La siguiente figura representa la evolución de las emisiones GEI del transporte total y por carretera de 1990 a 2010. Si nos fijamos en la evolución se comprueba que hasta 2007 ha habido un aumento continuo de dichas emisiones, con un incremento medio anual del 5%. De 2007 a 2010, sin embargo, hubo una disminución constante de las emisiones, con el descenso más significativo entre 2007 y 2009.

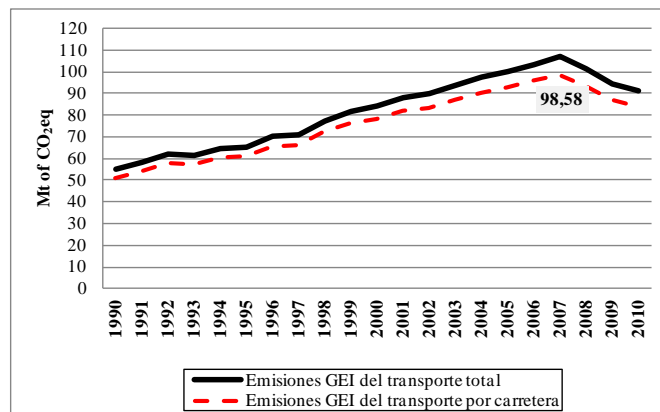


Fig. 1 - Evolución de las emisiones GEI del transporte en España (EUROSTAT, 2013b)

1.1 Estudios previos

A partir de la implementación de las estrategias de eficiencia energética en España en 2004, se han realizado varios estudios donde se analizan cuales han sido los factores principales en el aumento del consumo energético y de las emisiones GEI del transporte en España. De esta forma, Pérez-Martínez y Monzón (2008) demostraron que hay una

clara dependencia de la carretera en España. Argumentaron que el aumento del tráfico por carretera durante el período comprendido entre 1990 y 2005 se debió a un aumento de la motorización y de la movilidad privada en coche. Por su parte, Mendiluce et al. (2010) identificaron los factores clave que impulsaron el aumento de la intensidad energética del transporte en España. Ante el aumento de la movilidad en más de un 50% entre 1995 y 2006, ellos determinaron que el aumento del uso de coche privado fue causado por el aumento del ingreso per cápita, del crecimiento urbano y la dieselización del parque de vehículos, que, al tiempo que mejoraba la eficiencia energética del parque, tuvo un efecto rebote al aumentar las distancias de viaje. En el caso del transporte de mercancías por carreteras, los principales factores que deterioraron la eficiencia energética del sistema fueron la actividad de la construcción y un aumento de la demanda de suministros de corta distancia, que ha aumentado el uso de furgonetas (Mendiluce et al. 2010). También en el estudio de transporte de mercancías de Pérez-Martínez (2010) se analizaron las emisiones GEI del transporte por mercancías en España de 1990 al 2007 utilizando técnicas de descomposición. Pérez-Martínez (2010) obtuvo que la gran demanda del transporte por carretera de mercancías junto con el crecimiento económico fueron los principales factores que provocaron el aumento en dicho período. En el caso del transporte de viajeros, Mendiluce y Del Río (2010) examinaron los factores determinantes de la evolución del transporte de viajeros en términos de dependencia energética y emisiones GEI. Tras el análisis de descomposición, llegaron a la conclusión de que la compra de vehículos diesel fue el principal impulsor de consumo de energía en el transporte privado (influenciado por el mayor poder adquisitivo de los españoles). Mientras que los vehículos diesel ofrecen una mayor eficiencia energética, esto no ha sido suficiente para compensar el aumento de la distancia total recorrida por habitante, con el consiguiente efecto “rebote” sobre el consumo de energía (Mendiluce y Del Río, 2010). Este efecto rebote también fue obtenido en dos análisis posteriores. Por un lado, en el análisis de las emisiones del transporte en España por Mendiluce y Schipper (2011). Llegaron a la conclusión de que el transporte por carretera es el principal contribuyente en el aumento de las emisiones GEI del transporte en España. Además otro factor a destacar en el aumento de las emisiones del transporte fue la fuerte inversión en la red de transporte por carretera. Y por otro lado en el estudio de Gonzalez y Marrero (2012), quienes establecieron la existencia de un efecto significativo indirecto causado por la dieselización del parque de vehículos, que no compensó la eficiencia que ofrecen estos vehículos. Recientemente, Pérez-López et al. (2013) han analizado la evolución de las emisiones GEI de tres autopistas españolas en el período 2005-2010, considerando solo factores de emisión y de actividad. Ellos obtuvieron que la actividad del transporte por carretera fue el parámetro principal que contribuyó a las emisiones, y en segundo lugar la composición de la flota de vehículos.

Por lo tanto las principales conclusiones que se obtienen de los estudios anteriores son que el transporte por carretera ha aumentado significativamente, y por consiguiente sus emisiones. Los factores más importantes en su evolución hasta antes de la crisis han sido: el fuerte desarrollo económico en España, que ha influenciado en el aumento de la

motorización, y en el aumento de la demanda. Únicamente, Perez-Lopez et al. (2013) incluyen un análisis parcial de la crisis financiera que comenzó en 2007, pero que se hizo visible en 2008. Sin embargo, en dicho estudio no se tienen en cuenta los factores socioeconómicos, que son clave para el análisis de un período de cambio económico. Esto justifica la realización de un estudio más profundo de los factores más influyentes en la disminución de las emisiones GEI del tráfico de carreteras durante la crisis económica. La pregunta que se formula es la siguiente: ¿es la crisis económica el principal factor en la reducción de emisiones de la carretera o también han influenciado otros factores?

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal de este estudio es identificar los principales factores que más han influenciado en la disminución de las emisiones GEI del transporte por carretera en España durante el comienzo de la crisis económica. En base a este análisis, el objetivo secundario, es proponer estrategias en el transporte por carretera para reducir la huella de carbono del tráfico de carreteras. Para ello, se propone un marco metodológico basado en un análisis de descomposición mediante Índices de Laspeyres Modificados (ILM) con el que se examinan una serie de factores.

El artículo está organizado en los siguientes capítulos. El siguiente capítulo 2 presenta el marco metodológico utilizado para los análisis, la identificación de los factores influyentes en las emisiones GEI del tráfico de carreteras y la descripción del análisis de descomposición utilizado. Seguidamente, en el capítulo 3 se describe el caso de estudio de España, y se obtienen los resultados de la aplicación de la metodología para el período inicial de la crisis económica (de 2007 al 2010). Los resultados se discuten en el capítulo 4 y se sugieren algunas estrategias de eficiencia energética a corto plazo para el transporte por carretera. Finalmente, en el capítulo 5 se incluyen las principales conclusiones del estudio.

2. MARCO METODOLÓGICO, FACTORES PRINCIPALES Y ANÁLISIS DE DESCOMPOSICIÓN

2.1 Marco metodológico

La metodología para analizar los principales factores que han influido en la reducción de emisiones GEI sigue el esquema representado en la Figura 2. El primer paso es la definición de los factores elementales que influyen en las emisiones GEI del transporte por carretera en un período de tiempo (ver subcapítulo 2.2). Basándose en estos factores, se definen los indicadores, los cuales constituyen los elementos multiplicativos del análisis de desagregación y representan las relaciones entre los factores elementales. De la descomposición, se identifican los indicadores más influyentes sobre las emisiones durante el período seleccionado. Finalmente, se proponen estrategias y políticas que actúan sobre dichos indicadores y que son clave para alcanzar los objetivos de un transporte por carretera bajo en carbono.

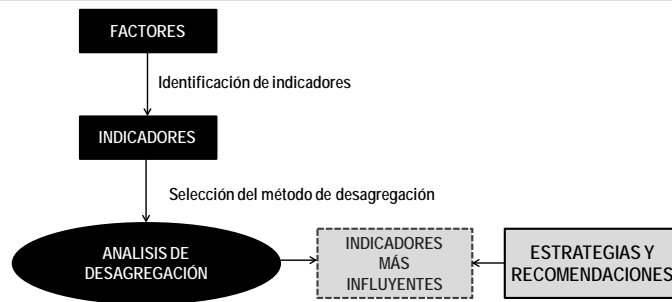


Fig. 2 – Marco metodológico

2.2 Factores principales

Después de una búsqueda bibliográfica por diferentes estudios donde se analizan las emisiones de la carretera (He et al. 2005; Know, 2005; Li et al. 2013; Lu et al. 2007; Papagiannaki y Diakoulaki, 2009; Piecyk y McKinnon, 2010; Yan y Crookes, 2009), de forma general se obtiene que la huella de carbono del tráfico de carreteras está influenciada por dos factores principales (ver Figura 3): actividad del tráfico y consumo de combustible. La *actividad* depende principalmente de la distancia total recorrida por los vehículos de la red y la motorización (vehículos per cápita). Por su parte, el *consumo de combustible* depende de la distribución del consumo de combustible entre los diferentes tipos de combustibles y de la eficiencia de los vehículos. Estos últimos factores están influenciados a su vez por la composición de la flota de vehículos (tamaño del motor, penetración de diferentes tecnologías, la edad, etc.). Además, tanto la actividad como el consumo de combustible también son influenciados por *factores socioeconómicos* como la población, el producto interior bruto (PIB) y la tasa de empleo.

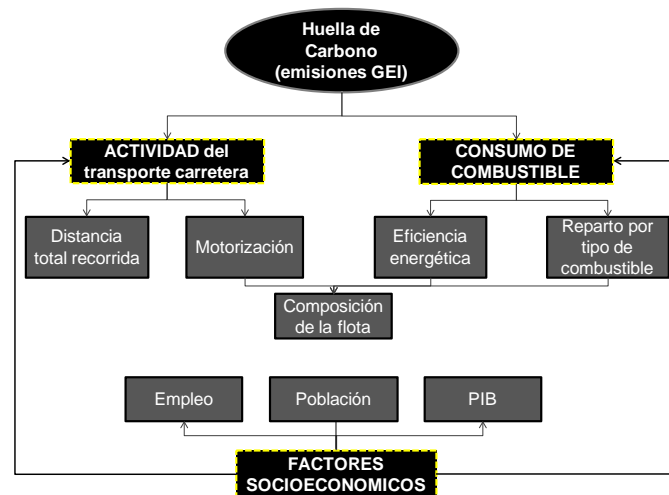


Fig. 3 – Factores elementales que afectan a las emisiones GEI del tráfico

2.3 Análisis de descomposición: Índices de Laspeyres Modificados

Los análisis de descomposición con índices Laspeyres, Paasche, Fischer ideal, Divisa, etc.; se utilizan para identificar los factores relevantes que influyen en los cambios de las emisiones, consumo de energía y la intensidad energética de diferentes sectores. Además éstos son útiles para establecer políticas destinadas a reducir los impactos energéticos y ambientales. Existen un gran número de métodos de descomposición y la discusión sobre

cuál es el método más apropiado también ha sido objeto de análisis (véase Ang, 2004; Ang et al. 2009). Los métodos más utilizados en consumo de energía y emisiones del transporte son el método Laspeyres (IL) y método Divisa (ID) (Ang, 2004). No obstante, el principal inconveniente de estos métodos es la existencia de un residuo que conduce a la incertidumbre en cuanto a la validez de los resultados (Ang y Choi, 1997; Ang y Zhang, 2000). En el caso del método ID, fueron creados el método de media logarítmica (IDL) en sus dos componentes aditivo o multiplicativo. En el IDLM el residuo se elimina mediante una función logarítmica media de peso de todos los factores. Para hacer frente a este problema en el método IL, Sun (1998) propuso el método de Índice de Laspeyres Refinado (ILR), en la que los términos de interacción se distribuyen por igual entre todos los factores. Recientemente, Mishina et al. (2011) han propuesto el Índice de Laspeyres Modificado (ILM), que se basa en el RLI pero “los atributos de los términos de interacción con los factores están relacionados de acuerdo con los cambios en cada uno de los factores y se distribuyen de manera proporcional al ratio simétrico de los cambios”. El método ILM proporciona una descomposición más precisa y fiable que la ILR o IDLM, sobre todo en los casos en que algunos factores cambian positivamente y otros negativamente (Mishina y Muromachi, 2012).

Por todos estos motivos se elige el método ILM aditivo para su aplicación a la evolución de las emisiones GEI del transporte por carretera en España en el período 2007-2010 (Mishina et al. 2011). El análisis de desagregación utiliza la combinación de los factores anteriormente mencionados y que constituyen importantes fuerzas impulsoras en el cambio de las emisiones GEI: consumo de energía, los kilómetros totales recorridos, el número total de vehículos, la población, el número de empleados y el PIB.

La ecuación general utilizada para calcular la cantidad de emisiones GEI en el año t (en toneladas de CO₂eq) del transporte por carretera es la siguiente:

$$GEI_t = \frac{GEI_t}{CE_t} \times \frac{CE_t}{DT_t} \times \frac{DT_t}{V_t} \times \frac{V_t}{P_t} \times \frac{P_t}{EP_t} \times \frac{EP_t}{PIB_t} \times PIB_t \quad (1)$$

donde CE_t es el consumo total de energía del transporte por carretera (expresado en TJ); DT_t es la distancia total recorrida por los vehículos (10^6 km); V_t es el número total de vehículos (10^4 unidades de vehículos); P_t es el número de habitantes (en 10^4 habitantes); EP_t es el número de empleados (expresado en 10^4 habitantes); y PIB_t es el Producto Interior Bruto (10^6 euro, año de referencia 2000). La ecuación (1) también puede ser expresada como:

$$GEI_t = IC_t \times IE_t \times IA_t \times M_t \times IT_t \times IP_t \times PIB_t \quad (2)$$

donde IC_t , IE_t , IA_t , M_t , IT_t , IP_t , PIB_t son los indicadores que afectan a las emisiones GEI del transporte por carretera y que se describen en la siguiente Tabla 1.

| Indicadores | Descripción | Relación entre factores |
|--|--|-----------------------------|
| IC_t - Intensidad de carbono | La intensidad de carbono se define como la cantidad de CO ₂ eq emitido por unidad de consumo de energía. Depende principalmente del tipo de combustible utilizado (eficiencia del carbono de los combustibles). Una disminución significa que hay una mejora en la eficiencia de carbono de la combustión del combustible. | $IC_t = \frac{GEI_t}{CE_t}$ |
| IE_t - Intensidad Energética | La intensidad energética se expresa como el consumo total de energía por kilómetros totales recorridos. Una disminución de la intensidad energética se traduce en una mejora de la eficiencia energética: mejor rendimiento del motor, mejor comportamiento de conducción, vehículos más eficientes, o un mejor diseño y gestión de carreteras | $IE_t = \frac{CE_t}{DT_t}$ |
| IA_t - Intensidad de la actividad | La intensidad de la actividad por carretera se expresa como el número total de kilómetros recorridos por vehículo. Un aumento significaría que hay un aumento en el kilometraje anual por vehículo. | $IA_t = \frac{DT_t}{V_t}$ |
| M_t - Motorización | La tasa de motorización es el número total de vehículos por habitante. Un aumento de la motorización está correlacionado con el crecimiento económico (mayor poder adquisitivo) | $M_t = \frac{V_t}{P_t}$ |
| IT_t - Intensidad de empleo | La intensidad de empleo es la relación entre la población y el número de personas empleadas. Es el inverso de la tasa de empleo. Un aumento significa que hay un aumento del desempleo. | $IT_t = \frac{P_t}{EP_t}$ |
| IP_t - Intensidad del PIB per empleado | La intensidad del PIB per empleado es el número de personas empleadas por unidad de PIB. Es la inversa del PIB per cápita empleado. Una disminución significa que hay un aumento en la productividad del mercado de trabajo. | $IP_t = \frac{EP_t}{PIB_t}$ |
| PIB_t - Producto Interior Bruto | Expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país. Se usa como medida del bienestar material de una sociedad. | PIB_t |

Tabla 1 – Descripción de los indicadores

Con el método de descomposición ILM aditivo, el cambio de emisiones GEI (ΔGEI) en el tiempo t, con respecto al año base t=0 se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta GEI = GEI^t - GEI^0 = IC^t IE^t IA^t M^t IT^t IP^t PIB^t - IC^0 IE^0 IA^0 M^0 IT^0 IP^0 PIB^0 = \Delta IC + \Delta IE + \Delta IA + \Delta M + \Delta IT + \Delta IP + \Delta PIB \quad (3)$$

donde ΔIC , ΔIE , ΔIA , ΔM , ΔIT , ΔIP , y ΔPIB son las distribuciones de los indicadores sobre el cambio total de emisiones GEI producidos por cada índice. Para un modelo con siete factores ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$), el cambio del factor x_1 que influye a las emisiones

GEI, viene expresados de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
\Delta GEI_{x_1} = & \Delta x_1 (x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} \Delta x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 \\
& + \frac{a_1}{a_1 + a_3} \Delta x_3 x_2 x_4 x_5 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_4} \Delta x_4 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_5} \Delta x_5 x_2 x_3 x_4 x_6 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_6} \Delta x_6 x_2 x_3 x_4 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_7} \Delta x_7 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3} \Delta x_2 \Delta x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 \\
& + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4} \Delta x_2 \Delta x_4 x_3 x_5 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_5} \Delta x_2 \Delta x_5 x_3 x_4 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_6 x_3 x_4 x_5 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_7 x_3 x_4 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4} \Delta x_3 \Delta x_4 x_2 x_5 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_5} \Delta x_3 \Delta x_5 x_2 x_4 x_6 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_6} \Delta x_3 \Delta x_6 x_2 x_4 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_7 x_2 x_4 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_5} \Delta x_4 \Delta x_5 x_2 x_3 x_6 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_6} \Delta x_4 \Delta x_6 x_2 x_3 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_7} \Delta x_4 \Delta x_7 x_2 x_3 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_5 + a_6} \Delta x_5 \Delta x_6 x_2 x_3 x_4 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_5 + a_7} \Delta x_5 \Delta x_7 x_2 x_3 x_4 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_6 + a_7} \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_3 x_4 x_5 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 x_5 x_6 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_5} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_5 x_4 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_6 x_4 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_7 x_4 x_5 x_6 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_5} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_5 x_3 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_6 x_3 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_7 x_3 x_5 x_6 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_5 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_5 \Delta x_6 x_3 x_4 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_5 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_5 \Delta x_7 x_3 x_4 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_6 \Delta x_7 x_3 x_4 x_5 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_5} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 x_2 x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_6} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_6 x_2 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_7 x_2 x_5 x_6 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_7 x_2 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_5 + a_6} \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_6 x_2 x_4 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_5 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_7 x_2 x_4 x_6 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_6 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_4 x_5 + \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_5 + a_6} \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 x_2 x_3 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_5 + a_7} \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_7 x_2 x_3 x_6 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_6 + a_7} \Delta x_4 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_3 x_5 + \frac{a_1}{a_1 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_3 x_4 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 x_6 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_6 x_5 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_7 x_5 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_5 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_6 x_4 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_5 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_7 x_4 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_6 \Delta x_7 x_4 x_5 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_5 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 x_3 x_7 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_5 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_7 x_3 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_6 \Delta x_7 x_3 x_5 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_3 x_4 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 x_2 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_5 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_7 x_2 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_6 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_5 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_4 + \frac{a_1}{a_1 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 x_3 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 x_7 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_7 x_6 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_6 \Delta x_7 x_5 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_4 + \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_3 + \frac{a_1}{a_1 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7 x_2 + \\
& \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7} \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta x_4 \Delta x_5 \Delta x_6 \Delta x_7)
\end{aligned} \tag{4}$$

donde,

$$a_i = \frac{\Delta x_i}{x_i^0 + x_i^t} \quad (i=1,2,3,4,5,6,7) \tag{5}$$

$$\Delta x_i = x_i^t - x_i^0 \quad (i=1,2,3,4,5,6,7) \tag{6}$$

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Datos

Los datos utilizados en el análisis se recogen en la siguiente Tabla 2. La actividad del transporte por carretera y los datos de su consumo de energía en el caso de España son recogidos anualmente por el gobierno español. La distancia recorrida por los vehículos de carreteras se estima a partir de los flujos anuales de tráfico (Ministerio de Fomento, 2012). Los datos del parque de vehículo son recogidos anualmente por la Dirección General de Tráfico (DGT). La DGT elabora anualmente estadísticas de consulta pública sobre el número de vehículos en circulación por tipo de combustible, tipo de motor, tecnología, etc. a nivel provincial. Las cifras oficiales son también publicadas anualmente por el Ministerio de Fomento (2012). Por su parte, el consumo energético para el transporte por carretera son datos elaborados a partir de las ventas de combustible para vehículos de carretera. En el presente estudio, se han tomado las cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2013). En cuanto a los datos de emisiones GEI del transporte por carretera, se han tomado del Inventario de Gases de Efecto de Invernadero (MAGRAMA, 2012) que recopila datos anuales desde 1990 hasta 2010. Por último los datos socioeconómicos: población, tasa de empleo y PIB se han obtenido de las estadísticas publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2013).

| AÑO | Emisiones GEI (t CO ₂ eq) | Consumo energético (TJ) | Distancia total recorrida (10 ⁶ km) | Flota de vehículos (10 ³ veh) | Población (10 ³ hab) | Empleado (10 ³ hab) | PIB (10 ⁶ €) |
|------|--------------------------------------|-------------------------|--|--|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 2007 | 98.584.000 | 1.366.700 | 398.700 | 31.907 | 44.475 | 20.713 | 796.488,9 |
| 2008 | 93.309.000 | 1.304.600 | 384.500 | 32.516 | 45.283 | 20.687 | 803.567,0 |
| 2009 | 87.031.000 | 1.239.100 | 376.900 | 32.339 | 45.828 | 19.338 | 773.507,5 |
| 2010 | 83.872.000 | 1.210.900 | 376.100 | 32.501 | 45.989 | 18.856 | 772.970,1 |

Tabla 2 – Datos de los factores utilizados en el análisis correspondientes al transporte por carretera en España

3.2 Resultados del análisis de descomposición

Antes de la obtención de los resultados, la siguiente Figura 4 representa la evolución de las emisiones GEI y de los indicadores durante el período 2007-2010 (tomando 2007 como año de referencia). La figura muestra como el aumento de la intensidad de empleo (IT), es decir, el aumento del desempleo, se refleja casi proporcionalmente con la disminución de las emisiones GEI del transporte. Esto quiere decir que, el aumento en la tasa de desempleo conlleva a una reducción de las emisiones GEI, por un doble efecto: por un lado se reduce el uso de la carretera (se eliminan viajes al trabajo) y por otro lado, como el empleo en España ha estado fuertemente apoyado en el sector de la construcción, también ha influido en la reducción del transporte de mercancías por carretera y en la disminución de la producción. Cabe destacar que durante este período se han visto mejoradas tanto la eficiencia de carbono y energética, influenciada por los resultados de la implementación de estrategias de eficiencia energética en el transporte por carretera.

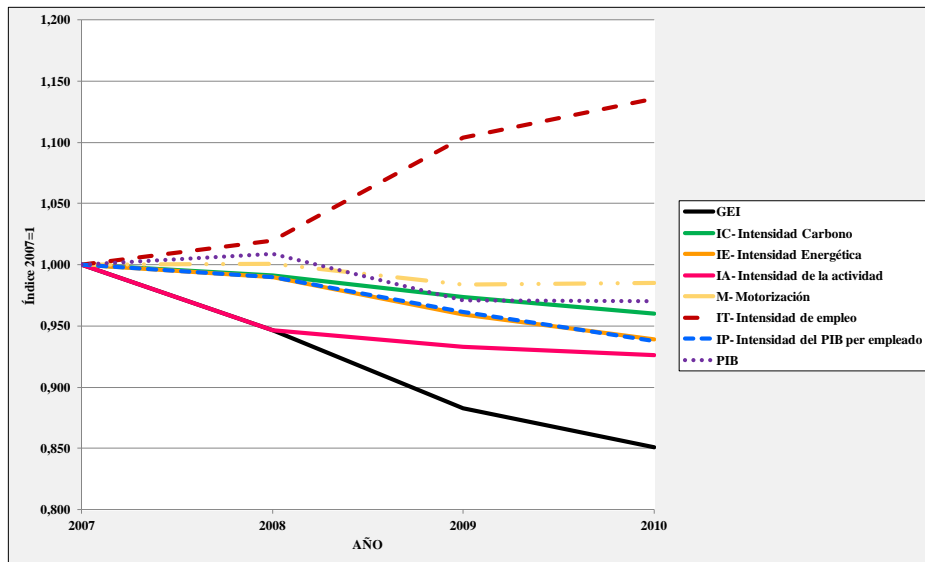


Fig. 4 – Evolución de las emisiones GEI y sus indicadores de 2007 a 2010

Realizando el análisis para el conjunto del período 2007-2010. En la siguiente Figura 5 se muestran los resultados del análisis de desagregación.

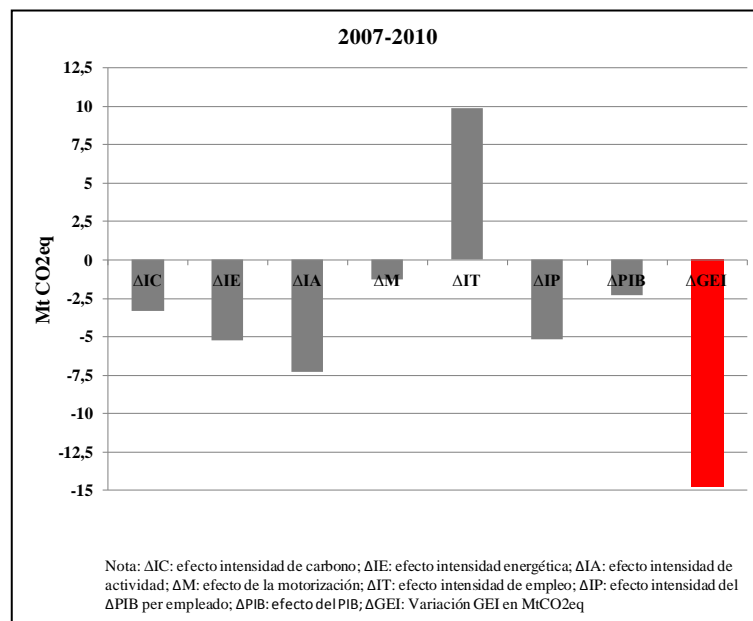


Fig. 5 – Desagregación de las emisiones GEI del transporte por carretera en España (2007-2010)

A la derecha en rojo, se representa la reducción total de emisiones GEI de este período que ascendió a casi 15 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Es decir, un tercio de las emisiones totales que se deben reducir para conseguir los niveles de 1990 y así cumplir con los objetivos del Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998). El indicador que más influencia ha tenido en este período ha sido la intensidad de empleo, afectando negativamente en el aumento de las emisiones. Este indicador, llevándolo a la inversa, significa que la reducción de la tasa de empleo durante este período ha provocado una reducción de emisiones GEI en el transporte por carretera, dando lugar a una reducción de

la actividad del transporte por carretera. El efecto de la intensidad de la actividad ha producido un efecto positivo en la reducción de emisiones (ΔIA), con 7,25 millones de toneladas de CO_2 equivalentes. Se debe subrayar aquí también la mejora de la eficiencia energética (ΔIE) y la eficiencia del combustible (ΔIC), pues su efecto ha sido positivo con una reducción de emisiones de 5,25 y 3,33 millones de toneladas de CO_2 equivalentes respectivamente.

En esta otra Figura 6, se representa la desagregación de las emisiones GEI por años. A la derecha, se comprueba como del total de 15 millones de toneladas de CO_2 equivalentes para el período 2007-2008, la mayor reducción se produce en el año 2008-2009.

- Del 2007 al 2008 (en azul), la reducción total de emisiones GEI ha sido de 5,27 millones de toneladas de CO_2 equivalentes. El indicador que más ha influenciado en dicha reducción ha sido la intensidad de la actividad, es decir, reducción del uso del transporte por carretera. Cabe destacar que el PIB tiene un efecto negativo, contribuyendo a un aumento de emisiones, al igual que la motorización, aunque en menor medida.
- Del 2008 al 2009 (en naranja), es donde se ha producido una mayor reducción de emisiones, influenciado por el efecto de PIB y la reducción de la renta per cápita de la población (ΔIP). Se deben señalar también los efectos positivos de la eficiencia energética, motorización y la eficiencia de los combustibles.
- Del 2009 a 2010 (en rojo), se observa un descenso en la reducción de emisiones GEI con respecto a los años anteriores. El efecto positivo producido por la eficiencia energética, junto con el descenso del PIB per empleado y la eficiencia de los combustibles, han sido los precursores de esta reducción.

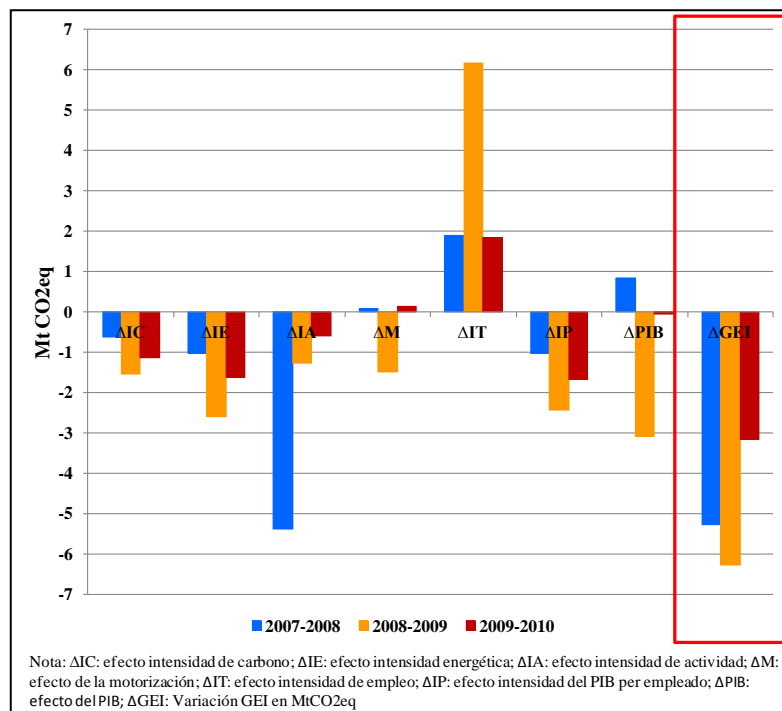


Fig. 6 – Desagregación de las emisiones GEI del transporte por carretera en España

4. DISCUSIÓN: LECCIONES DE LA CRISIS

El análisis de los principales indicadores de la reducción de las emisiones GEI del transporte por carretera realizado para el período de comienzo de la crisis económica, muestra que su evolución en España está muy vinculada a los factores socioeconómicos como el aumento de la tasa de desempleo y el descenso de la renta disponible. En efecto, la disminución de la población activa ha provocado una reducción de los viajes obligados al trabajo, y con ello un menor uso de la carretera. Pero también, la crisis económica ha impactado fuertemente en el sector de la construcción, y con ello los desplazamientos de mercancías por carretera (Mendiluce y Schipper, 2011). Por otro lado, en este período de recesión, la eficiencia energética y la eficiencia de los combustibles han mejorado, impactando positivamente en la reducción de emisiones. Esto ha sido consecuencia de la introducción del etiquetado energético en el transporte, de la promoción de uso de biocombustibles (Gobierno España, 2008), y las medidas de renovación de flotas de vehículos (IDAE, 2007), entre otros.

Antes de la llegada de la recesión económica, el transporte por carretera en España mantenía una tendencia de crecimiento que se estaba convirtiendo insostenible para conseguir los objetivos de la política medioambiental. Con la llegada de crisis económica, este crecimiento se derrumbó, provocando una reducción de su demanda y por consiguiente de sus impactos al medio ambiente. Desde 2010, España ha seguido disminuyendo las emisiones GEI de carreteras. Sin embargo, en la actualidad nos encontramos en un momento donde la recesión económica parece haberse estabilizado y con ello la demanda de la carretera también, apuntado pequeños repuntes de crecimiento entre 2012-2013 (INE, 2013). Por ello, uno de los objetivos de la política medioambiental es desvincular el transporte del desarrollo, o también llamado “desacoplamiento”. En el caso de España, se debe aprovechar este descenso de las emisiones GEI para continuar esta tendencia o su mantenimiento. Este es el mayor reto al que los países desarrollados se enfrentan, ya que según predicen numerosos estudios a medida que las economías crecen, la movilidad continuará en aumento. Por lo tanto, futuras medidas para reducir los problemas de dependencia energética y cambio climático del transporte por carretera deberían tomar en consideración lo siguiente:

- Por un lado, se deben adoptar medidas para reducir el uso del transporte en general, sin poner en peligro el desarrollo del país. Esto podría lograrse mediante una mejor gestión de la demanda, mejor planificación de usos de suelo, estímulo hacia el uso de modos de transportes más eficientes (Banister, 2011).
- Por otro lado, dado que el tráfico rodado es el más demandado en nuestro país, existe la necesidad de implementar estrategias para mejorar la eficiencia del uso de las carreteras. Dichas estrategias pueden incluir la penetración de vehículos más eficientes y pequeños; y la gestión del tráfico desde el punto de vista de eficiencia energética: control de la velocidad, mejora del diseño de infraestructuras, gestión de los vehículos pesados, sistemas inteligentes de transportes, tecnologías

eficientes, etc. (Monzon et al., 2012).

5. CONCLUSIONES

El tráfico rodado es el mayor contribuyente a la huella energética y de carbono del sector transporte. Las políticas medioambientales y de eficiencia energética para conseguir un sistema de transporte sostenible comenzaron a cobrar importancia en España desde el 2004. Sin embargo, a pesar de la introducción de planes de acción definidos en las estrategias de eficiencia energética, hasta la llegada de la recesión económica, no se han obtenido unos resultados positivos en la reducción de emisiones del tráfico. En este estudio se han identificado los factores clave que han marcado la tendencia de reducción durante el comienzo de la crisis para comprender los mecanismos sobre los que actuar en su evolución futura. La utilización del marco metodológico basado en desagregación por indicadores, Índices de Laspeyres Modificados (ILM) ha permitido cuantificar los diferentes efectos y responder a las preguntas planteadas. Dichos efectos tienen que ver con la actividad, combustibles, y factores socioeconómicos.

El análisis de las emisiones GEI permite concluir que en España durante el comienzo de la crisis económica hasta la actualidad se ha reducido la actividad del tráfico rodado y se ha mejorado su eficiencia energética. Parece que los españoles han adaptado su comportamiento a sus necesidades reales de movilidad, y con ello a reducir el número de kilómetros que conducen y moverse más eficientemente. Pero esa adaptación ha sido provocada por factores como el desempleo o la reducción de la renta. El reto es, por tanto, desvincular el transporte del desarrollo.

España ha demostrado ser más eficiente en la crisis, cuando el desarrollo se ha estancado, que en años de prosperidad económica. Este estudio proporciona un profundo análisis que podría ayudar en el desarrollo de medidas y la redefinición de las estrategias con las que sacar provecho de la reciente disminución de la demanda del transporte por carretera. Las sugerencias de políticas que se incluyen en el apartado anterior incluyen: i) la vuelta a políticas que fomenten la compra de vehículos más eficientes y pequeños; ii) el estímulo hacia el uso de otros medios de transporte más eficientes y la reducción de la dependencia del vehículo privado; y iii) el fomento de estrategias de gestión eficiente del tráfico y la infraestructura, haciendo uso de las tecnologías de la información y la comunicación (i.e. gestión de velocidad ó gestión del flujo de tráfico).

En definitiva, el país se encuentra en una encrucijada que si sabemos aprovechar podría marcar un cambio en el paradigma del transporte por carretera.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a Andrés Monzón por sus tan valiosos comentarios que han hecho posible este estudio.

REFERENCIAS

Ang, B., Choi, K. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy J.*, 18(3), pp. 59-73.

Ang, B. W., Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25(12), pp. 1149-1176.

Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? *Energy Policy*, 32(9), pp. 1131-1139.

Ang, B. W., Huang, H. C., Mu, A. R. (2009). Properties and linkages of some index decomposition analysis methods. *Energy Policy*, 37(11), pp. 4624-4632.

Banister, D. (2011). The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19, pp. 950-959.

CNE (2013) *Estudio sobre las emisiones derivadas del consumo de carburantes en el transporte por carretera en España*. Comisión Nacional de Energía, Dirección de Hidrocarburos. Acceso Junio 2013

http://www.cne.es/cne/contenido.jsp?id_nodo=525&&keyword=&auditoria=F

EUROSTAT (2013a). *Final Energy Consumption by sector*. Acceso Noviembre 2013

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdp_c320&plugin=1

EUROSTAT (2013b). *Greenhouse Gas Emissions by sector*. Acceso Mayo 2013

<<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00072&plugin=1>>

Gobierno de España (2008) *ORDEN ITC/2877/2008, de 9 de octubre, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte*. BOE 248, 16487, 41770-41775. En:

<http://www.boe.es/boe/dias/2008/10/14/pdfs/A41170-41175.pdf>

Gonzalez, R. M., Marrero, G. A. (2012). The effect of dieselization in passenger cars emissions for Spanish regions: 1998-2006. *Energy Policy*, 51, pp. 213-222.

He, K., Huo, H., Zhang, Q., He, D., An, F., Wang, M., Walsh, M. (2005). Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: Current status, future trends, and policy implications. *Energy Policy*, 33(12), pp. 1499-1507.

IDAE (2007) *Plan de Acción 2008-2012, Estrategia de ahorro y eficiencia energética E4*

2004-2012, IDAE. Acceso Junio 2013

http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Plan_de_Accion_2008-2012_19-07-07_con_TABLAS_PDF_ACC_2936ad7f.pdf

IDAE (2011). *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*. Acceso Junio 2012

<http://www.idae.es/index.php/id.663/lang.uk/re/menu.332/mod.pags/mem.detalle>

INE (2013) Instituto Nacional de Estadística. Acceso Mayo 2013 <http://www.ine.es/>

Kwon, T. (2005). Decomposition of factors determining the trend of CO₂ emissions from car travel in Great Britain (1970-2000). *Ecological Economics*, 53(2), pp. 261-275.

Li, H., Lu, Y., Zhang, J., Wang, T. (2013). Trends in road freight transportation carbon dioxide emissions and policies in China. *Energy Policy*, 57, pp. 99-106.

Lu, I. J., Lin, S. J., Lewis, C. (2007). Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy Policy*, 35(6), pp. 3226-3235.

MAGRAMA (2012). *Inventario de gases de efecto invernadero de España Edición 2012 (Serie 1990-2010)*, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Acceso Mayo 2013 <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>

Mendiluce, M., Perez-Arriaga, I., Ocaña, C. (2010). Comparison of the evolution of energy intensity in Spain and in the EU15. Why is Spain different? *Energy Policy*, 38(1), pp. 639-645.

Mendiluce, M., Del Río, P. (2010). Energía y transporte. *Cuadernos Económicos De ICE*, (79), pp. 213-236.

Mendiluce, M., Schipper, L. (2011). Trends in passenger transport and freight energy use in Spain. *Energy Policy*, 39(10), pp. 6466-6475.

Ministerio de Fomento. (2012). *Anuario Estadístico 2011*. En Dirección General de Programación Económica y Presupuestos, Subdirección General de Estadísticas (ed.). Obtenido de: www.fomento.gob.es

Mishina, Y., Taniguchi, Y., Muromachi, Y. (2011). Why carbon dioxide emissions from Japanese passenger cars peaked in 2001 complete decomposition analysis from 1990 to 2008. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2252), pp. 152-160.

Mishina, Y., Muromachi, Y. (2012). Revisiting decomposition analysis for carbon dioxide emissions from car travel introduction of Modified Laspeyres Index method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2270), pp. 171-179.

Monzon, A., Sobrino, N., Hernandez, S. (2012). Energy -and environmentally efficient road management: the case of the Spanish motorway network. *Procedia –Social and Behavioral Science*, 48(0), pp. 287-296.

Naciones Unidas (1998). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Acceso Noviembre 2013
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

ODYSSEE (2012). *Energy Efficiency Indicators in Europe*. Acceso Junio 2013
www.odyssee-indicators.org

Papagiannaki, K., Diakoulaki, D. (2009). Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark. *Energy Policy*, 37(8), pp. 3259-3267.

Pérez-López, P., Gasol, C.M., Oliver-Sola, J., Huelin, S., Teresa Moreira, M., Feijoo, G., (2013). Greenhouse gas emissions from Spanish motorway transport: Key aspects and mitigation solutions. *Energy Policy*, 60, pp. 705-713.

Pérez-Martínez, P.J, Monzón, A. (2008). Consumo de energía por el transporte en España, tendencias de emisión. *Observatorio Medioambiental*, 11, pp. 127-141.

Pérez-Martínez, P. J. (2010). Freight transport, energy use, and emission trends in Spain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2191(1), pp. 16-22.

Piecyk, M. I., McKinnon, A. C. (2010). Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. *International Journal of Production Economics*, 128(1), pp. 31-42.

Sun, J. (1998). Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model. *Energy Economics*, 20(1), pp. 85-100.

Yan, X., Crookes, R. J. (2009). Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector. *Energy Policy*, 37(2), pp. 658-668.

WCED. (1987). *Our common future, Report of the World Commission on Environment and Development (the Brundtland Report)*. Oxford University Press, New York.