

# LOS DETERMINANTES DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN ESPAÑA: ¿SE HA MEJORADO LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?

María MENDILUCE VILLANUEVA

World Business Council for Sustainable Development (Wbcsd)

## Resumen

El análisis de la intensidad energética (IE) en España entre 2000 y 2010 permite identificar los sectores clave que impulsan la relación entre el crecimiento económico y la demanda energética. Este artículo explica, a través de comparaciones con otros países de la Unión Europea, y aplicando la metodología de desagregación de índices, las razones del cambio de tendencia en la evolución de la IE en España y el consumo energético. La conclusión es que la construcción ha influido decisivamente en este cambio de tendencia, por los impactos que dicha actividad tiene en la producción y consumo energético de ramas industriales como los productos minerales no metálicos, de metales básicos, de la producción de coque para la metalurgia y del transporte de todos estos materiales. Además, la generación de electricidad se ha hecho mucho más eficiente, fundamentalmente por la fuerte penetración de las energías renovables en el país, por lo que se ha conseguido producir más electricidad con menores insumos energéticos.

*Palabras clave:* intensidad energética, demanda energética, crecimiento económico, desmaterialización.

## Abstract

The analysis of energy intensities in Spain between 2000 and 2010 helps identify the drivers of the economic growth and energy demand relationship. This article explains, through comparisons with other European Union countries, and applying the index decomposition methodology, the reasons behind the shift in the Spanish energy intensities and energy consumption trends. It concludes that construction and associated activities have greatly influenced these trends; with impacts is the production and energy consumption of industries such as non-metallic mineral products, basic metals, coke production for iron and the transportation of these materials. Furthermore, electricity generation has become much more efficient, mainly due to the high penetration of renewable energies in the country; the sector has managed to produce more electricity with lower energy inputs.

*Key words:* energy intensity, energy demand, economic growth, dematerialization.

*JEL classification:* Q41, Q43, 013.

## I. INTRODUCCIÓN

La demanda energética en el mundo ha crecido desde los 2.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) Btoe de 1960 hasta los 12.500 Mtep en la actualidad (Wbcsd, 2012). Para cumplir con los objetivos medioambientales asumidos en el seno de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, la demanda energética debería crecer a un ritmo más moderado, para situarse en 2050 en 16.000 Mtep. En el caso español, la demanda energética ha crecido desde los 16 Mtep en 1960 hasta los casi 126 Mtep en 2011. Si se aplicase la parte proporcional del crecimiento previsto a nivel mundial hasta 2050, la demanda en ese año no debería superar los 161 Mtep. No obstante, el consumo energético per cápita en el mundo es bastante desigual, con países como la India con un consumo de 0,6 tep, frente a los 2,8 tep de España o los 7,1 tep en Estados Unidos. Por ello, si el reparto del consumo energético se tuviera que hacer de una manera justa, en 2050 la media del consumo sería 1,74, un 38 por 100 inferior a la media actual española (IEA, 2012a). Estos datos apuntan a que las presiones medioambientales,

pero también cuestiones de seguridad de suministro y de competitividad de los países, harán que los países se esfuercen en reducir su demanda energética o al menos reducir la relación entre su demanda energética y el crecimiento económico, recogido en el indicador de la intensidad energética (IE) que se suele medir como consumo energético en tep por millón de euros de valor añadido bruto (VAB).

El análisis de la demanda energética es fundamental para analizar la situación energética de un país y la planificación de las infraestructuras energéticas necesarias para cubrir la demanda futura. En general, investigadores y gobiernos se han concentrado principalmente en analizar cuál es la oferta energética óptima para un país desde la perspectiva de la reducción de sus impactos ambientales, la seguridad de suministro o la competitividad de las economías, relegando el análisis de la demanda a un segundo plano. En estos estudios a menudo se toma el crecimiento de la demanda como un valor exógeno, simplemente una proyección de la evolución pasada, o vinculada a una posible evolución del producto interior bruto (PIB) de un país o región, aunque últimamente se realizan ajustes para reflejar

los objetivos de eficiencia energética planteados en varios países.

Diversos estudios han señalado una clara tendencia a la electrificación de las economías, conforme la electricidad vaya sustituyendo a los combustibles líquidos en el transporte o el acceso a formas modernas de energía llegue a los países en vías de desarrollo. Como la electricidad no es almacenable (como otras fuentes energéticas como el petróleo o el gas) y se tarda entre dos y diez años en construir nuevas centrales de generación con una vida útil que puede alcanzar los 40 años, es necesario realizar una prospectiva energética o eléctrica más precisa que permita asegurar un suministro fiable, y al mismo tiempo optimizar el despliegue de infraestructuras y la rentabilidad de las instalaciones.

Por ello, el objetivo de este artículo es analizar la evolución del consumo energético en España y apuntar a posibles tendencias de futuro. En primer lugar, se analizan algunos de los modelos más utilizados para el análisis de la demanda energética y las teorías de la desmaterialización. En segundo lugar se compara la evolución de la intensidad energética en España con otros países europeos. En tercer lugar, se analizan cuáles son los sectores clave en su evolución, utilizando la metodología de descomposición de índices, y cuáles son las claves que permitan explicar su evolución a futuro.

## II. CONTEXTO

Existen básicamente dos formas de hacer previsiones de la demanda. Por un lado, está el enfoque de arriba-abajo, en el que se estima la evolución de diferentes magnitudes macroeconómicas con modelos de equilibrio general o aplicados. Estos modelos están destinados a simular diferentes políticas energéticas, en lugar de realizar estimaciones de prospectiva energética por agregación (para una revisión de los diferentes modelos véase Rodríguez *et al.*, 2011). Por otro lado, el enfoque de abajo-arriba, generalmente con modelos de equilibrio parcial, intenta utilizar una caracterización detallada del sector energético. Estos modelos inicialmente de programación lineal u optimización, y más recientemente con funciones no lineales, contienen un nivel elevado de detalle sobre las tecnologías y la demanda de ciertos procesos a un nivel mayor de agregación (Rodríguez *et al.*, 2011). La desventaja de estos modelos es que se centran en algunos sectores sin cubrir la totalidad de la economía, frente a los métodos arriba-abajo que sí cubren toda la

economía, pero no disponen del detalle sobre tecnologías que son relevantes para el análisis de las estrategias energéticas.

Por otro lado, muchos estudios han intentado medir la relación entre el consumo energético y el crecimiento económico con modelos econométricos (con un estudio pionero realizado por Kraft y Kraft, 1978). No obstante, no hay consenso en la literatura sobre si esta relación es en una dirección (el consumo de energía influye en el crecimiento económico o viceversa), bidireccional o inexistente. Ahora bien, la relación entre PIB y consumo energético no es homogénea y depende de la especialización productiva de los países y de la evolución de la población. Es necesario un conocimiento más profundo de la demanda energética para poder construir modelos que reflejen las condiciones del mercado. Esto es quizá más importante en momentos en los que la estructura productiva del país ha dado un cambio muy profundo, como es el caso español, lo cual vuelve irrelevantes las antiguas previsiones energéticas.

A nivel internacional la referencia más utilizada en las proyecciones de la demanda energética es la publicación anual del *World Energy Outlook* (WEO) de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2012b). Además, en la edición del año 2012, el *World Energy Outlook* dedica varios capítulos al tema de la eficiencia energética. La edición de 2012 prevé un crecimiento de la demanda del 48 por 100 entre 2010 y 2035 en el escenario de referencia. Si se consiguen los objetivos de eficiencia energética anunciados por los gobiernos, el crecimiento se limitaría al 34 por 100.

Estos crecimientos están en línea con las estimaciones realizadas por BP en su *BP Energy Outlook* (BP, 2012). En general, uno de los principales inconvenientes de estas publicaciones es la falta de información sobre cómo se calculan sus diferentes escenarios.

Para calcular la demanda energética futura el modelo de la IEA utiliza como aproximación el crecimiento del PIB, la evolución de la población y los precios energéticos. La mayor dificultad está en una estimación del crecimiento del PIB en los próximos veinte años, así como de los precios de los combustibles (por ejemplo quién iba a prever hace unos años el fuerte descenso del precio actual del gas natural), por lo que estas estimaciones tienen un alto grado de incertidumbre. La IEA reconoce estas dificultades, pero a nivel agregado mundial y de regiones las predicciones convergen a rangos más

reducidos, a pesar de las grandes divergencias entre países, puesto que unos países compensan a otros.

En cuanto al impacto de las políticas de eficiencia energética en la evolución de la demanda energética, si se ponen en marcha todas las medidas anunciadas por los gobiernos, la IEA prevé que la demanda se reducirá en 1.200 Mtoe entre 2010 y 2035. Para poder cumplir con el escenario de 450 partes por millón (PPM), objetivo de reducción de emisiones a 2050 que mantendría el incremento de temperatura en 2 °C, la reducción debería ser de 1.800 Mtoe. La IEA no explica con mucho detalle cómo se conseguirán estos avances, señalando que «se pondrán en marcha las políticas necesarias para superar las barreras a la eficiencia energética». Esta es una presunción altamente cuestionable si se tiene en cuenta la evolución de la eficiencia energética reciente. En el desglose de los ahorros de las nuevas políticas de eficiencia la industria representa el 47 por 100 de la reducción, el transporte el 33 por 100 y los edificios el 15 por 100.

Estas previsiones tienen un alto grado de incertidumbre dada la dificultad de predecir las distintas hipótesis utilizadas para su cálculo (PIB, precios de la energía, eficacia de las medidas de eficiencia energética y la relación entre estos tres factores). En muchos casos los escenarios pecan de un excesivo voluntarismo y falta de rigor, pero, por otro lado, tampoco la literatura ofrece estudios más realistas sobre la evolución de la demanda a futuro. En la literatura reciente, muchos estudios (IEA, 2012b; Ecofys, 2012; entre otros) intentan explicar que desde el punto de vista tecnológico se pueden cumplir los objetivos ambientales planteados, sin tener en cuenta si desde un punto de vista económico (coste para empresas y consumidores) estos escenarios son rea-

listas. En estos estudios a menudo se utiliza la eficiencia energética como cajón de sastre. Esto es, primero se estima cuánta energía puede aportar cada tecnología limpia, y la diferencia con una proyección de la demanda energética actual se considera debida a las mejoras de la eficiencia energética.

### III. TEORÍAS DE LA DESMATERIALIZACIÓN

Un aspecto importante que no trasciende en el *World Energy Outlook* es la evolución a lo largo del tiempo de la relación entre el consumo energético y el crecimiento económico (medida con el indicador de intensidad energética). Si el consumo energético crece a nivel inferior al crecimiento económico, se podría decir que la economía se está desmaterializando a nivel relativo.

La literatura reciente sobre la desmaterialización se remonta a principios de los años setenta, cuando se publica *Los límites al crecimiento* (Meadows et al., 1972), que retoma el debate sobre la sostenibilidad del modelo de crecimiento. Este trabajo defiende que el crecimiento económico exponencial conduciría al colapso ecológico aunque se anticiparan soluciones tecnológicas para la escasez de recursos y de prevención contra la contaminación. Numerosos investigadores intentaron rebatir esta perspectiva neomalthusiana a través de las teorías de desmaterialización, en las que se quiere demostrar que inicialmente se produce un incremento del consumo de recursos y energía conforme incrementa la renta per cápita de los países, pero luego le sigue un descenso cuando la economía se ha desarrollado lo suficiente. Los avances tecnológicos permiten además que las economías que se desarrollen más tarde tengan un pico de su intensidad en el consumo de materiales a un nivel inferior (ver gráfico 1). Diversos estudios a principios de los noventa (Grossman y Krueger, 1991; Panayotou, 1993) dieron a esta tendencia el nombre de curva de Kuznets medioambiental (CKE), a causa de una hipotética relación de «U» invertida entre el PIB per cápita de un país y algún indicador de degradación ambiental.

Algunos investigadores han ido más allá y han intentado dar una explicación a nivel sectorial (ver gráfico 2). En un país hipotético, en las primeras etapas, la agricultura aporta la mayor parte del PIB de las economías y un consumo energético relativamente menor a otros países. Después, el país se industrializa y aumenta la intensidad energética del país y la demanda de energía. En las fases intermedias de desarrollo, el sector terciario, menos inten-

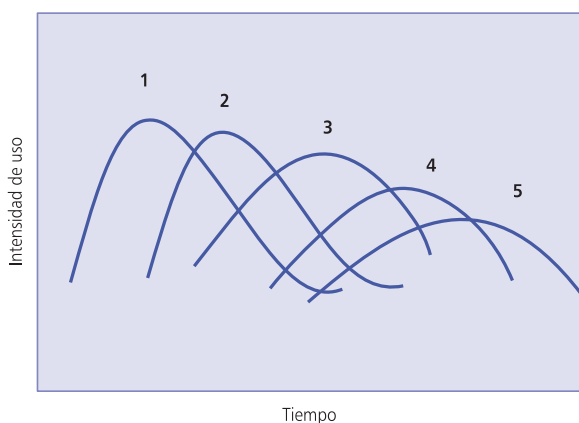
CUADRO N.º 1

#### AHORRO ENERGÉTICO EN LOS DIVERSOS ESCENARIOS DEL WEO 2012 POR SECTOR

	Demanda energética (Mtep)			Ahorro de energía acumulado
	2010	2020	2035	2011-2035
Industria .....	2.452	3.064	3.461	3.343
Transporte .....	2.378	2.785	3.276	2.502
Edificios .....	2.920	3.314	3.760	1.120
Otros .....	976	1.112	1.242	456
<b>Total .....</b>	<b>8.726</b>	<b>10.275</b>	<b>11.739</b>	<b>7.421</b>

Fuente: IEA, 2012b.

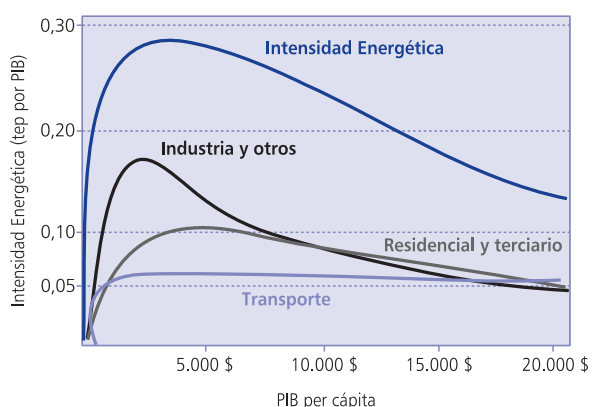
GRÁFICO 1  
CURVAS DE INTENSIDAD DE USO DE MATERIALES ESTILIZADAS



Fuente: Bernardini y Galli, 1993.

sivo en el consumo energético, aumenta su peso y tiende a reducir la intensidad energética de los países. En las fases más avanzadas de desarrollo, los ciudadanos han adquirido un poder adquisitivo que les permite adquirir coches y casas, aumentando considerablemente el consumo energético del país, que en las fases más avanzadas puede mostrar sín-

GRÁFICO 2  
INTENSIDAD ENERGÉTICA POR SECTORES EN UNA ECONOMÍA HIPOTÉTICA



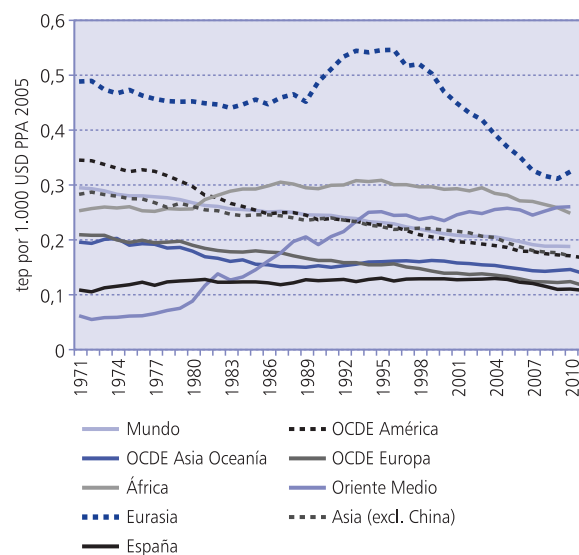
Fuente: Medlock y Soligo, 2001: 95.

tomas de saturación (Jänicke *et al.*, 1989; Panayotou, 1993; Bernardini y Ruth, 1993; Galli, 1998).

La razón por la que estas teorías han tenido tanta relevancia para los hacedores de políticas es porque muestran que el crecimiento causa problemas medioambientales, pero también es la solución. No obstante, muchos de los análisis econométricos que analizan esta relación no encuentran evidencia suficiente para afirmar la existencia de esta relación en forma de U invertida (Gallastegui *et al.*, 2011). Además, las teorías de la desmaterialización han tenido algunas críticas y matizaciones (Cleveland y Ruth, 1999; Sorrel, 2007; Bernardini y Galli, 1993; Labandeira *et al.*, 2006; Richmond y Kaufmann, 2006).

En la práctica, los datos muestran que, en términos generales, los países conforme se desarrollan aumentan su IE hasta alcanzar un pico a partir del cual necesitan menos energía para producir un millón de euros de valor añadido, y presentan una evolución de la intensidad energética decreciente (ver gráfico 3). Hay tres factores que influyen en esta evolución: la tecnología, los recursos energéticos del país y los sistemas económicos. Los avances tecnológicos permiten a los países adoptar tecnologías más eficientes y poder reducir su intensidad ener-

GRÁFICO 3  
EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA EN DIFERENTES PAÍSES DEL MUNDO



Fuente: Balances energéticos de la IEA (2012a).

gética antes. Cuando hay una mayor disponibilidad de recursos energéticos hay menos incentivos a mejorar la eficiencia energética y un menor miedo a la dependencia energética (por ejemplo, Oriente Medio). Finalmente, los países con sistemas económicos centralizados suelen tener mayor intensidad energética; por un lado, la distribución de recursos no está guiada por las señales de precios y, por otro, hay una preferencia por el desarrollo de industrias pesadas (por ejemplo, Eurasia en el gráfico, que es fundamentalmente la ex Unión Soviética).

#### IV. EL ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA EN ESPAÑA

En el caso español, la literatura sobre la relación entre consumo energético y crecimiento energético es limitada. Los estudios realizados se han centrado en el estudio de la intensidad energética industrial, utilizando las tablas de origen y destino para calcular la descomposición estructural de la IE e identificar los motivos que explican las diferencias en las IE en la industria entre los distintos países de la Unión Europea (Alcántara y Duro, 2004) o aplicando la metodología de descomposición de índices para comparar con la evolución de la IE de los sectores productivos de otros países europeos (Marrero y Ramos-Real, 2008). También se han realizado varios estudios para identificar el ahorro potencial de energía en varios procesos productivos industriales (Aranda *et al.*, 2003, o Esteban *et al.*, 2003).

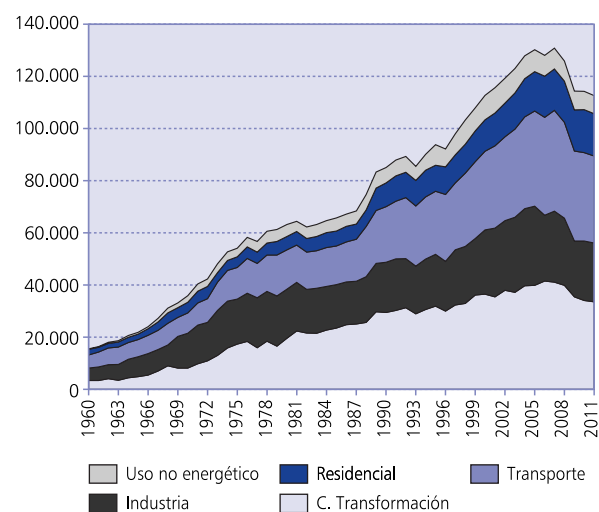
Estos estudios han cubierto parcialmente la industria española, pero no incluyen la evolución de otras áreas como el transporte o el consumo residencial. Esto es importante puesto que la industria tan solo consume el 20 por 100 de la energía total en España. El primer análisis que abordó la totalidad del consumo energético en España se centró en la evolución de la intensidad energética entre 1990 y 2006 (Mendiluce, 2010). Una de las conclusiones de dicho estudio es que entre 1995 y 2004, como consecuencia de un fuerte crecimiento económico en áreas más intensivas en energía y el aumento de la población, la intensidad energética registró incrementos mientras los países europeos presentaban descensos de la IE. El objetivo de este artículo es analizar si se está produciendo un cambio de tendencia de la IE española, consecuencia de la crisis económica, como también del efecto saturación de ciertos consumos (transporte o residencial). Este análisis es muy relevante en estos momentos en los que se debe actualizar la prospectiva energética, por lo que este artículo busca identificar aspectos clave

a tener en cuenta en ejercicios futuros de prospectiva energética.

La demanda energética en España (ver gráfico 4) se ha multiplicado por seis desde 1960, con dos periodos de fuerte crecimiento, entre 1965 y 1977 y entre 1995 y 2004, y con varios periodos de descensos leves (en torno a 1978 y 1993) y más pronunciados (2008-2010) debidos a varias crisis económicas. Si a finales de los sesenta era el sector industrial el protagonista de los fuertes crecimientos del consumo, en el periodo 1995-2004 ha sido el transporte el que más ha crecido, seguido de la industria, en buena parte debido a una especialización productiva en las actividades relacionadas con la construcción y el sector eléctrico, por un incremento de la población y sus demandas de electricidad (Mendiluce, 2010).

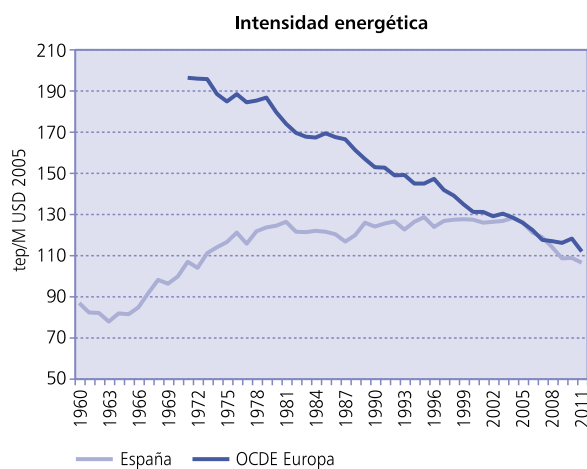
Por lo que se refiere a la evolución de la intensidad energética en ese periodo, los datos muestran un aumento inicial de la IE, un periodo de pico de la IE con ligeras variaciones y un descenso fuerte de la IE desde el año 2005 (ver gráfico 5) (1). En comparación con los países de la OCDE en Europa, se muestra una convergencia hacia niveles similares. Ahora bien, mientras que se produce un fuerte descenso de la IE en Europa, en el caso español se produ-

GRÁFICO 4  
EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA EN LOS ÚLTIMOS TREINTA AÑOS



Fuente: Balances energéticos de la IEA, 2012a.

GRÁFICO 5  
EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA  
EN ESPAÑA



Fuente: *Balances energéticos de la IEA, 2012a.*

ce un incremento hasta el año 2004. Las variaciones de nivel se deben en parte a las diferentes condiciones climatológicas, pero también la evolución de los consumos energéticos por sectores productivos ha sido muy distinta, por ello es relevante analizar la evolución de la IE en estos años para encontrar claves diferenciadoras.

En este artículo se analiza la evolución de la IE en los últimos diez años y los factores determinantes de su evolución más reciente. Las preguntas que se intentan responder son: ¿Cómo ha afectado la crisis económica a la evolución de la intensidad energética en España? ¿Es el caso español muy diferente al de otros países europeos?

Para contestar a estas preguntas se ha construido una base de datos fruto de una compleja selección y armonización de los datos disponibles, así como de la subsanación de las lagunas existentes en las fuentes originarias (véase una descripción más detallada de algunas de las dificultades en la consolidación de esta base de datos en Mendiluce, 2010). Los datos de consumo energético de los sectores vienen de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2012). Para el caso español se cuenta además con las estadísticas más desagregadas proporcionadas por el Servicio de Estudios del IDAE (IDAE, 2012) para el transporte de mercancías y privado, y para el desglose de los consumos del sector servicios y residencial (2).

En este artículo se analiza la IE total frente a otros estudios que analizan la IE final. La diferencia es que en la IE total se incluyen todos los consumos energéticos de la economía excepto los consumos no energéticos. Esto significa que se incluye el consumo energético de los sectores transformadores (electricidad y otra transformación energética), de los sectores industriales, del transporte, de los sectores de servicios y del sector residencial. Cuando solo se analiza la IE final no se incluyen los sectores transformadores, omitiendo del análisis el 30 por 100 del consumo energético español. La consolidación de la información estadística del transporte y el desglose de los consumos del sector residencial y del terciario son una de las aportaciones originales de este artículo.

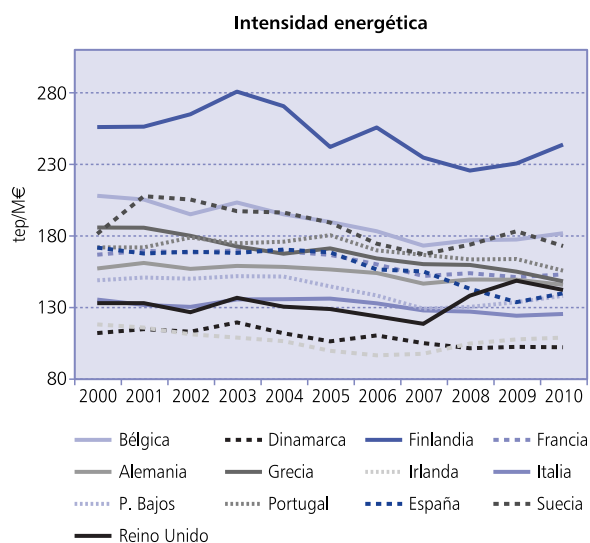
Los datos de VAB de los países europeos provienen de «Agregados Macroeconómicos a precios corrientes. Desglose en 10 ramas de actividad», publicado por Eurostat (2012). Una de las dificultades en el análisis es que Eurostat actualiza constantemente las estadísticas, lo cual dificulta la comparación con estudios más recientes. Además, Eurostat publica las series a precios corrientes, por lo que las comparaciones internacionales están influidas por la evolución de la inflación, por ello se han corregido las series con los datos del IPC anuales recopilados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2011). Para el análisis del caso español se han convertido a precios constantes con base 2005 el VAB de las diferentes ramas de actividad (INE, 2012), utilizando la variación anual del IPC como deflactor (INE, 2012). Estos ajustes nos permiten tener una imagen un poco más real de la evolución de la eficiencia energética.

## V. COMPARACIÓN CON EUROPA: ¿SEGUIMOS SIENDO DIFERENTES?

En los gráficos 6 y 7 se muestra la evolución de la intensidad energética para los grandes agregados de actividad (industria, transporte, servicios y residencial) en varios países de la UE-15.

A diferencia de lo que pasó en la década de los noventa (Mendiluce, 2009), la evolución de la IE en España sigue una trayectoria similar a la de los países de su entorno, aunque es destacable que países con condiciones climatológicas más frías (y por tanto con mayores necesidades de calefacción) tengan un nivel de IE inferior. Esto se debe a que Alemania, Dinamarca, Países Bajos o Reino Unido se han especializado en actividades de mayor valor añadido y que se han podido introducir importantes mejoras en la eficiencia de la calefacción de edificios.

GRÁFICO 6  
EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA  
EN LA UNIÓN EUROPEA



Una parte importante de la diferencia de nivel y de evolución de la IE se debe a las distintas estructuras económicas de los países europeos. En el gráfico 8 se muestra la participación de cada sector en el PIB de cada país en 2000 y 2011. Hay dos aspectos diferenciadores entre España y la UE-15. Por un lado, en 2000 el peso de la agricultura es mucho más alto (4,2 por 100 frente a 2,4 por 100), aunque esta diferencia se corrige en 2011 (2,5 por 100 frente a 1,7 por 100). El efecto de esta especialización productiva no repercute tanto en el sector, puesto que la IE de la agricultura en España es más baja que en la UE-15, pero sí influye en el transporte de mercancías, porque un volumen importante de las mercancías se transportan por camión a Europa desde el sur de España principalmente, y porque es materia prima para la alimentación, una industria que también conlleva importantes flujos de transporte (Mendiluce, 2013). Pero la diferencia más destacable es sin duda la construcción. En España el 10 por 100 del PIB viene de este sector, mientras que en la UE-15 este porcentaje es del 6 por 100. Esta rama de actividad ha estado detrás de la fuerte demanda de materiales y de transporte, como se explicará más adelante.

En cuanto a los países que muestran una mejor evolución, destacan Dinamarca, Reino Unido, Holanda e Irlanda. No obstante los motivos son bien

distintos en cada uno de ellos y su análisis detallado excede el objetivo de este artículo. A grandes rasgos parece que en estos países, excepto en Irlanda, una mayor especialización en el sector terciario (menos intensivo en energía) está detrás de la buena evolución. Las razones en Irlanda vienen de una especialización en ramas industriales de mayor valor añadido y de menor intensidad energética, como se muestra en el gráfico 7 (panel Industria y construcción).

El sector servicios y los hogares tienen una IE más baja en España debido a sus mejores condiciones climatológicas, ya que la calefacción es uno de los principales consumos energéticos en todos los países. No obstante, una normativa más estricta en los países de la UE, y el aumento de los precios de la energía, está influyendo en la instalación de tecnologías para mejorar la eficiencia energética en los edificios en los países nórdicos, lo cual ayuda a mejorar considerablemente la IE de estos sectores en los países más fríos, mientras que en los países más cálidos el potencial de mejora es más limitado. En el sector industrial, España ha conseguido mantener un nivel medio de IE, lo que supone una importante mejora frente a la evolución entre 1990 y 2004 (Mendiluce, 2009), pero se deben examinar con profundidad las ratios de las diferentes ramas industriales para sacar conclusiones relevantes.

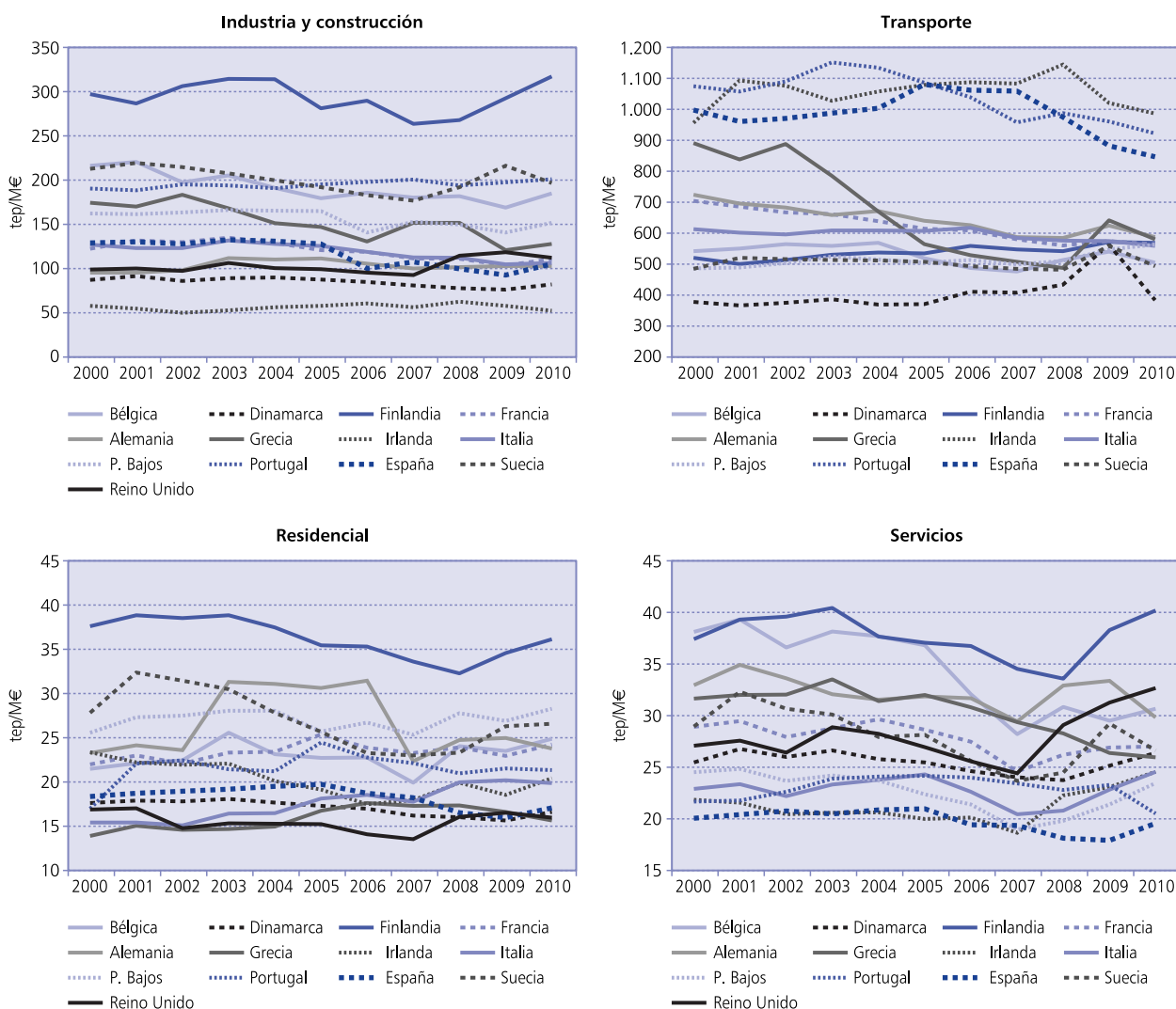
En el transporte, España tiene un nivel de IE más alto debido a varios motivos. Por un lado, el transporte de mercancías tiene una mayor actividad por la especialización en el transporte de productos de menor valor añadido, con unos centros de producción muy dispersos de los lugares de consumo, y una creciente tendencia a la exportación. Por otro, en España existe una excesiva dependencia de la carretera. Esto hace que España tenga un consumo energético de transporte entre los mayores de Europa, tanto en términos de intensidad energética (IE) (0,727 MJ/USD frente a 0,364 en Francia o 0,298 de Alemania), como en términos de actividad de transporte per cápita (7.420 ton-km frente a 5.950 en Alemania o 4.067 en Francia) (Mendiluce, 2013).

## VI. FACTORES DETERMINANTES DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA EN ESPAÑA

A continuación se analiza la evolución de la intensidad energética en España entre 2000 y 2010. La metodología utilizada es la desagregación de índices, un método habitual en los análisis de la intensidad energética.

Para realizar la descomposición se define, en primer lugar, una función que relaciona el agregado a

GRÁFICO 7  
EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA POR SECTORES EN LA UNIÓN EUROPEA



Fuentes: Elaboración propia a partir de IEA (2012a), Eurostat (2012) e INE (2012).

descomponer ( $IE$ ) con una serie de factores predefinidos. En este caso se consideran los 21 sectores productivos para los que existe información estadística desagregada y de valor añadido bruto (VAB), y el consumo residencial ( $E_R$ ), que incluye el consumo de los hogares y el del transporte privado. La función explicativa es:

$$IE = \frac{E_T}{Y_T} = \sum \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \frac{Y_{i,t}}{Y_T} + \frac{E_R}{Y_T}$$

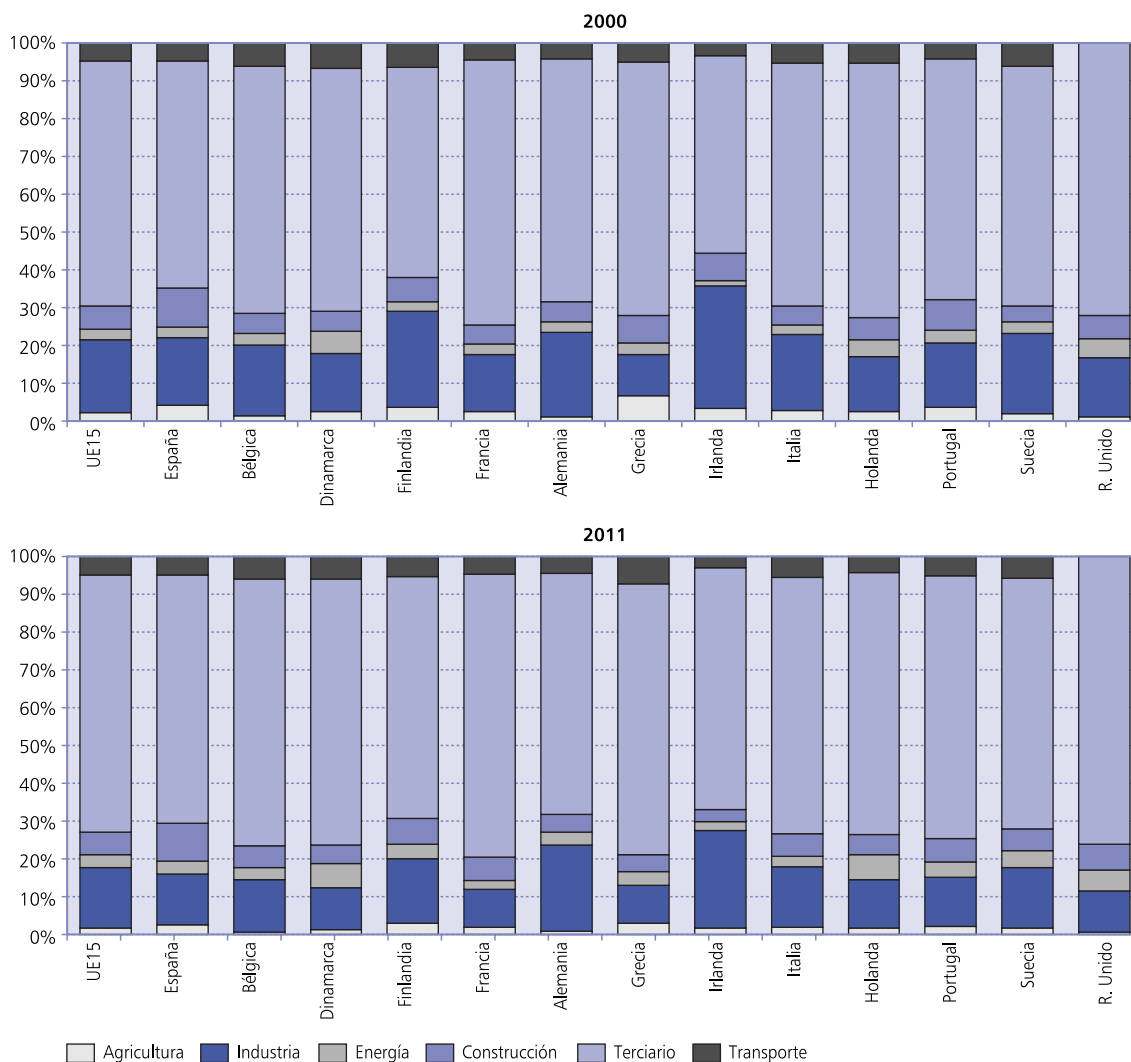
La intensidad energética ( $IE$ ) (medida como energía,  $E$ , dividida por valor añadido bruto total,  $Y$ ) se puede descomponer en varios factores:

— El efecto estructural ( $EE_i$ ), que se mide como porcentaje entre el valor bruto del sector  $i$ , dividido por el valor añadido bruto total de la economía española ( $Y_T$ ).

— El efecto intrasectorial, medido como el consumo energético del sector  $i$  ( $E_{i,t}$ ), dividido por el valor añadido bruto del sector ( $Y_{i,t}$ ).



GRÁFICO 8  
ESTRUCTURA ECONÓMICA DE LOS PAÍSES DE LA UE-15 (VAB/PIB)



Fuente: Eurostat, 2012.

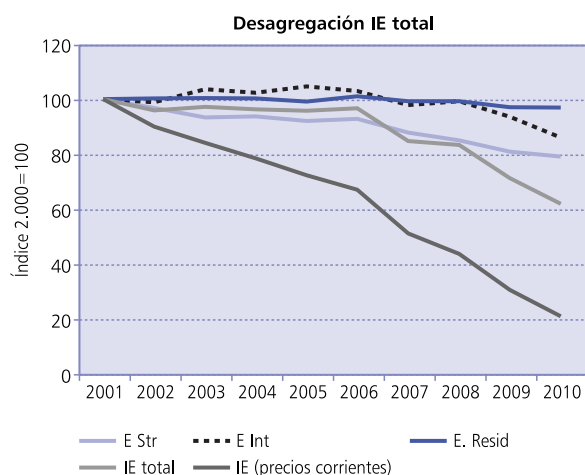
— El efecto residencial ( $E_R$ ), medido como el consumo energético de los hogares y el transporte privado dividido por el valor añadido total de la economía.

Así, la variación de la  $IE$  es la suma del efecto estructural de cada sector económico, la eficiencia energética de cada sector y la eficiencia en el consumo residencial (véase la descripción de la metodología en el anexo).

$$IE_t - IE_0 = \sum_i (EE_i + IE) + ER$$

En el caso español, la  $IE$  ha pasado de 171,4 tep/M€ a 139,4 tep/M€, esto es una reducción del 19 por 100 entre el año 2000 y 2010 (un 38 por 100 si se hiciese el análisis con euros corrientes, es decir incluyendo la inflación). En el gráfico 9 se muestra la descomposición de  $IE$  para España en los tres efectos descritos y se transforman en índice con 2.000 como base 100. El descenso se produce fundamentalmente a partir del año 2006. Aunque el gráfico muestra un descenso importante en el efecto estructural, que desde el año 2006 impulsa a la

GRÁFICO 9  
DESCOMPOSICIÓN DE LA IE EN TRES FACTORES

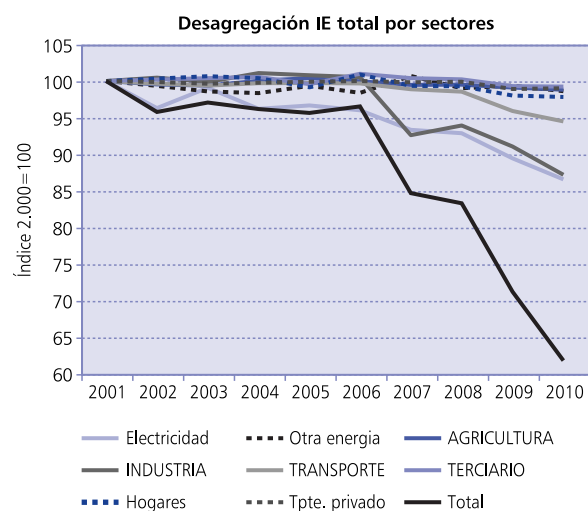


Nota: IE total es el resultado de sumar el efecto estructural (E Str), el efecto intrasectorial (E Int) y el efecto residencial (E Resid). La IE a precios corrientes se muestra a modo indicativo.  
Fuente: Elaboración propia.

baja la IE total, el desglose sectorial muestra que dicho descenso se debe a una reducción muy fuerte de la actividad de coquerías asociada al descenso de la demanda del productos metalúrgicos, lo que repercute en un descenso de su efecto estructural y una mejora del efecto intrasectorial que se compensan. Por ello, es realmente el efecto intrasectorial el que contribuye al descenso de la IE en el periodo, esto significa que los sectores productivos necesitan menos energía para producir valor añadido. El efecto residencial no ha afectado a la evolución de la IE.

Los sectores que más reducen su IE son la electricidad (-44 por 100), el transporte (-22 por 100) y la industria (-19 por 100). El efecto conjunto sectorial de su reducción intrasectorial y su cambio estructural se muestra en el gráfico 10 representado por su descomposición anual, mientras que el resultado total de la descomposición entre 2000 y 2010 se muestra en el cuadro n.º 2. A partir de 2005 se produce un fuerte descenso de la IE industrial (baja un 22 por 100 entre 2005 y 2010), especialmente importante en los años 2006 y 2009. El sector de electricidad es el que más contribuye a la reducción de la IE a lo largo de todo el periodo y el sector del transporte contribuye a partir de 2008. Un aspecto importante en este análisis es que el año 2005 se configura como un año en el que la tendencia en la

GRÁFICO 10  
DESCOMPOSICIÓN DE LA IE POR SECTORES



Fuente: Elaboración propia.

evolución de la IE cambia manifiestamente, frenando el crecimiento que se produjo entre 1995 y 2004, aunque este crecimiento es menos visible por los cambios en la forma de contabilizar el VAB de los sectores.

El análisis de los subsectores incluidos en cada categoría (cuadro n.º 2) permite entender mejor la evolución de la IE en esta década, al mostrar cómo cada sector contribuye a la reducción de la IE entre 2000 y 2010. Así, si la IE se redujo en 32 tep/M€ en esa década, esto se produjo sobre todo por el sector electricidad (40 por 100 de la reducción), los sectores industriales (32 por 100) y el transporte (16 por 100).

En el caso de la industria, buena parte de ese descenso se debe a la reducción de la actividad de construcción en España, cuyo reflejo más directo es el descenso en la actividad de productos no metálicos, vinculado fundamentalmente a la producción de cemento. Si la construcción y sus materiales fueron responsables de parte del incremento de la IE entre 1995 y 2004, principalmente porque el aumento de actividad superó las mejoras de eficiencia, ahora se muestra el efecto contrario. La producción de cemento era de 26 millones de toneladas (M ton) en 1995 (equivalente a un consumo per cápita de 650 Kg), llegó al alcanzar los 54,7 M ton en 2007 (equivalente a 1.270 Kg per cápita), para caer drásticamente

CUADRO N.º 2

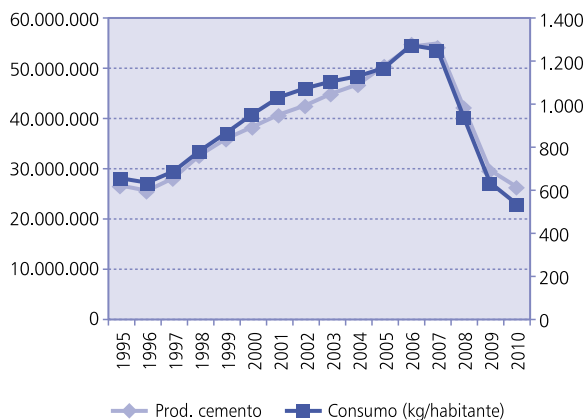
DESCOMPOSICIÓN COMPLETA DE LA IE ENTRE 2000 Y 2010

	EE	IE	Resid	En porcentaje
Electricidad.....	<b>7,75</b>	<b>20,66</b>		<b>40</b>
Otra energía.....	-14,95	13,14		6
Agricultura.....	-1,52	0,42		3
<b>Industria.....</b>	<b>-3,53</b>	<b>-6,61</b>		<b>32</b>
Metales básicos.....	-1,84	-0,32		7
Química.....	-1,24	-0,56		6
Prod. no metálicos.....	-2,46	-1,48		12
Material transporte.....	-0,48	-0,22		2
Maquinaria.....	-0,61	0,56		0
Minería.....	-0,11	-0,08		1
Alimentación.....	-0,02	-0,96		3
Papel.....	-1,30	0,76		2
Madera.....	-0,29	0,12		1
Construcción.....	0,08	0,29		-1
Textil.....	-0,97	-0,18		4
Otros.....	-0,08	1,23		-4
<b>Transporte.....</b>	<b>0,85</b>	<b>-6,10</b>		<b>16</b>
<b>Terciario.....</b>	<b>0,77</b>	<b>-0,79</b>		<b>0</b>
Oficinas.....	0,35	-0,37		0
Hospitales.....	0,20	-0,16		0
Comercio.....	0,25	0,09		-1
Restaurantes/alojamientos.....	-0,06	-0,12		1
Educación.....	0,05	-0,25		1
Hogares.....			-0,51	2
Trasporte privado.....			-0,26	1
<b>Total.....</b>	<b>-16,39</b>	<b>-14,85</b>	<b>-0,77</b>	<b>-32,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

hasta los 26 M ton en 2010 (ver gráfico 11). Así que la producción de cemento pierde peso en la economía (efecto estructural) y se utiliza menos energía para producir mayor valor añadido (efecto intrasectorial). Esto último se debe a que seguramente serán otro tipo de materiales menos intensivos en energía (3) los que más VAB aportan a esta rama industrial, por lo que se trata de un efecto estructural, aunque no se dispone de datos a ese nivel de desagregación que permita cuantificarlo. La actividad de productos no metálicos supone el 12 por 100 de la reducción de la IE total. De la misma manera, el sector de metales básicos también se ve influido por este descenso de la actividad constructiva, lo que supone un 7 por 100 del descenso total de la IE. Indirectamente el descenso de la construcción también influye en la producción de las coquerías que producen el combustible necesario para la metalurgia.

GRÁFICO 11  
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO PER CÁPITA DE CEMENTO EN ESPAÑA



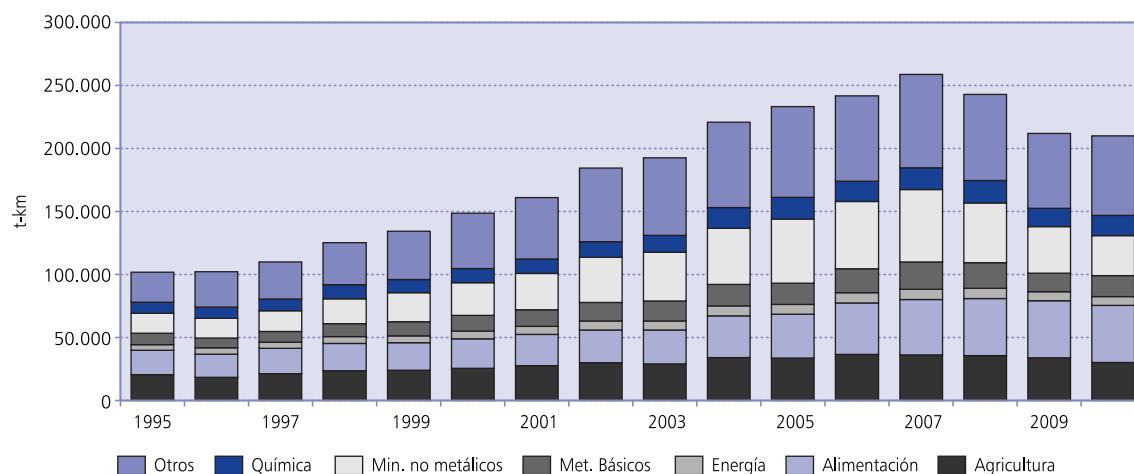
Fuente: OFICEMEN, 2012.

La evolución del transporte de mercancías ha estado también marcada por la evolución del sector de la construcción, tanto en los años de crecimiento como de recesión. Los datos muestran cómo el descenso de la actividad de la construcción ha llevado consigo un descenso del transporte de mercancías de estos materiales (-39 por 100 entre 2007 y 2010) con un impacto claro en el volumen total, que desciende un 19 por 100 (ver gráfico 12). En 2007 se transportaron 1.533 millones de toneladas de minerales y materiales de construcción (el 64 por 100 del total de la carga transportada), pero en 2010 se redujeron a 795 millones de toneladas (50 por 100 del total) (para más detalle véase Mendiluce, 2013). Por otro lado, los metales básicos, también utilizados para la construcción, redujeron también su demanda de transporte (-23 por 100 entre 2007 y 2010).

Por lo que se refiere al consumo de electricidad en España, los datos muestran una mejora muy importante de su eficiencia energética. Esto quiere decir que se necesita menos energía para producir su valor añadido bruto. Esta es una tendencia que ya se mostraba en el análisis realizado para el periodo 1995 a 2008, aunque la mejora en los años 2009 y 2010 no ha sido tan pronunciada.

El motivo está en la mejora en la eficiencia de la producción y abastecimiento de electricidad gracias a una mayor generación con ciclo combinado de gas y de renovables. El gas suponía el 9 por 100 de la generación en 2000 y crece hasta al 32 por 100

GRÁFICO 12  
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA EN ESPAÑA



Fuente: Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Fomento, 2011).

en 2010. Por su parte las energías renovables, fundamentalmente la eólica, aumentan su participación desde el 3 al 18,7 por 100 en 2010. Como la eficiencia de estas tecnologías (gas, 57 por 100 y renovables, 100 por 100), de acuerdo con las convenciones estadísticas, es superior a la del carbón (38 por 100) y la nuclear (33 por 100), se consigue generar más (la demanda crece un 35 por 100 en el periodo) consumiendo menos energía primaria (los insumos tan solo crecen un 9,5 por 100). Por ello, aunque las energías renovables se han promocionado en España sobre todo para reducir la dependencia energética exterior y mitigar el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), este análisis muestra que ha tenido otro efecto positivo al mejorar considerablemente la eficiencia energética del país.

## VII. CONCLUSIONES

La energía ha sido el motor de las economías desarrolladas en los últimos cincuenta años y lo continuará siendo en el futuro. Conforme los países emergentes se desarrollen, las presiones en la demanda de combustibles fósiles finitos aumentarán. Junto a esto los impactos del cambio climático son ya visibles y los países han fijado objetivos a largo plazo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, el incremento de los precios de la energía (fruto de esas tensiones entre la

oferta y demanda) puede perjudicar la competitividad de aquellas economías que no utilicen eficientemente sus recursos o que se hayan especializado en actividades más intensivas en energía.

Por estos motivos es importante analizar la composición de la demanda energética, los factores que determinan su evolución y los aspectos diferenciales de los países. El análisis de la IE permite identificar los sectores clave que impulsan la relación entre el crecimiento económico y la demanda energética. Los datos recientes indican que a partir del año 2005 se ha producido un cambio de tendencia en la evolución de la IE en España y en consecuencia en el consumo energético en el país. Este cambio de tendencia ha hecho irrelevante las antiguas previsiones energéticas, y requiere un nuevo análisis prospectivo para la planificación de las infraestructuras energéticas necesarias para cubrir la demanda futura.

En este artículo se ha explicado por qué las previsiones que se realizan a nivel internacional no pueden aplicarse al caso español, puesto que no consideran las teorías de desmaterialización de las economías, por la que los países tienden a reducir su IE conforme se terciarizan o si se desarrollan más tarde (beneficiándose de los avances tecnológicos), ni tampoco tienen en cuenta la especialización productiva de los países. Tampoco es el objetivo de estos estudios dar unas proyecciones de los países

individualizados, pero son tomadas muchas veces, ante la falta de estudios más detallados, como indicadores de referencia.

En el caso español, la literatura sobre la relación entre consumo energético y crecimiento energético ha sido limitada e incompleta. En este artículo se ha ampliado el periodo de análisis de un estudio anterior de la IE (Mendiluce, 2010) en el que por primera vez se explicaba de forma completa (esto es, incluyendo todos los sectores productivos de la economía y el consumo doméstico) la evolución de la IE. Las principales aportaciones de este artículo son: el análisis del cambio de tendencia de la IE en España (entre 2000 y 2010), la inclusión de información más detallada sobre el impacto de la coyuntura económica en el transporte de mercancías, y un mayor desglose de información en el sector terciario.

La conclusión más importante es que se confirma el cambio de tendencia que se inició en el año 2005, y que buena parte de este cambio se debe al «parón» de la construcción. A lo largo del artículo se ha explicado cómo la construcción influye en la demanda de productos minerales no metálicos, de metales básicos, de la producción de coque para la metalurgia y del transporte de todos estos materiales. Además, la crisis económica está empezando a producir estragos en las familias, que también han reducido a partir de 2009 su consumo energético.

Otra conclusión importante es que, a pesar de que la demanda de electricidad se ha mantenido en 2010 a niveles de 2005, la generación eléctrica es mucho más eficiente, fundamentalmente por la fuerte penetración de las energías renovables en el país, por lo que necesita menos combustibles fósiles para producir la electricidad. Los descensos generalizados del consumo de electricidad en la industria a partir de 2005 se compensan con el aumento de la demanda del sector terciario y residencial.

Estas son dos claves importantes que influirán en el consumo energético en el futuro. Si la estructura económica española consigue alejarse definitivamente del modelo de crecimiento del ladrillo, tanto por una especialización de la industria en actividades de mayor valor añadido, como por una mayor terciarización de su economía, en línea con los países más avanzados de la Unión Europea, la demanda energética seguirá reduciéndose o se mantendrá a niveles más estables.

Por otro lado, si se consiguen introducir medidas exitosas de eficiencia energética en el consumo de

energía del sector terciario y de las familias (en hogares y en transporte) tendrá un impacto a largo plazo en la demanda.

Por ello, la tarea del Gobierno español es doble. Por un lado, se debe fomentar una estructura productiva centrada en actividades industriales de mayor valor añadido con un mayor apoyo a la I+D+i y en un sector de servicios menos ligado al turismo (y por tanto a la construcción). Por otro, se debe continuar introduciendo medidas de mejora de la eficiencia energética tanto por la vía de precios energéticos, que reflejen cada vez mejor las externalidades ambientales y de otro tipo, como en el establecimiento de estándares más estrictos en la edificación, en los aparatos electrónicos y en los vehículos.

#### NOTAS

(1) Nótese que en este gráfico se muestran los datos de PIB en dólares en valores de 2005, por lo que los valores son muy diferentes a los que se muestran en los gráficos 6 y 7 en euros a precios corrientes o los que se utilizan en el ejercicio de descomposición a precios corrientes con base 2008.

(2) La autora quiere agradecer a Jesús Pedro García del Servicio de Estudios de IDAE por la consolidación y puesta a disposición de esta valiosa información estadística.

(3) La rama de productos no metálicos incluye la producción de cemento, vidrio y cerámica. El consumo energético para su elaboración es muy diferente. Así, la IE del cemento es de 2.000 tep/M€, del vidrio es de 405 tep/M€ y de cerámica de 1.015 tep/M€.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ALCÁNTARA, V., y DURO, J.A. (2004), «Inequality of energy intensities across OECD countries: a note», *Energy Policy*, 32: 1257-1260.
- ANG, B.W. (2005), «The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide», *Energy Policy*, 33: 867-871.
- ANG, B.W.; LIU, F.L., y CHEW, E.P. (2003), «Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis», *Energy Policy*, 31: 1561-1566.
- ARANDA, A.; SCARPELLINI, S., y FEIJOO, M. (2003), «Análisis de la Eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro», *Economía Industrial*, 352: 11-24.
- BERNARDINI, O., y GALLI, R. (1993), «Dematerialization: long-term trends in the intensity of use of materials and energy», *Futures*, 1993: 431-448, mayo.
- BP (2012), *BP Energy Outlook: statistical review 2012*. Disponible en [www.bp.com](http://www.bp.com).
- CLEVELAND, C., y RUTH, M. (1999), «Indicators of dematerialization and the materials intensity of use», *Journal of Industrial Ecology*, 2(3): 15-50.
- ESTEBAN, L.; FEIJOO, M., y HERNÁNDEZ, J.M. (2003), «Eficiencia energética y regulación de la industria española ante el cambio climático», *Estudios de Economía Aplicada*, 21 (2): 259-282.
- EUROSTAT (2012), «Agregados Macroeconómicos a precios corrientes. Desglose en 10 ramas de actividad», 30 de septiembre.

- GALLASTEGUI, C.; ANSUATEGUI, A.; ESCAPA, M., y ABDULLAH, S. (2011), «Economic growth, energy consumption and climate policy», en GALARRAGA, I.; GONZÁLEZ-EGUINO, M., y MARKANDYA, A. (eds.), *Handbook of sustainable use of energy*, Edward Elgar.
- GALLI, R. (1998), «The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries», *Energy Journal*, nº 19(4): 85-106.
- GROSSMAN, G.M., y KRUEGER, A.B. (1995), «Economic growth and the environment», *Quarterly Journal of Economics*, 110(2): 353-377.
- IDAE (2012), *Estadísticas de consumo energético*, recibido en enero de 2006, IDAE, Madrid.
- IEA (2011), *Energy Prices and Taxes, 2005*, IEA/OCDE, París.
- (2012a), *Energy Balances of OECD Countries, 2012 Edition*, IEA/OCDE, París.
- (2012b), *World Energy Outlook 2012*, IEA (www.iea.org), París.
- INE (2012), *Contabilidad Nacional de España*, Instituto Nacional de Estadística (www.ine.es), 30 de septiembre.
- JÄNICKE, M.; MÖNCH, H.; RANNEBERG, T., y SIMONIS, U.E. (1989), «Economic Structure and Environmental Impacts: East-West Comparisons», *The Environmentalist*, 9: 171-182.
- KRAFT, J., y KRAFT, A. (1978), «On the Relationship Between Energy and GNP», *Journal of Energy and Development*, primavera, 2(3): 401-403.
- KUZNETS, S. (1955), «Economic growth and income inequality», *American Economic Review*, 45: 1-28.
- LABANDEIRA, X.; LEÓN, C.J., y VÁZQUEZ, M.X. (2006), *Economía Ambiental*, Pearson Educación, Madrid.
- MARRERO, G.A., y RAMOS-REAL, F.J. (2008), «La intensidad energética en los sectores productivos en la UE-15 durante 1991 y 2005: ¿Es el caso español diferente?», *Colección estudios económicos* (www.fedea.es).
- MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J., y BEHRENS III, W. (1972), *The Limits of Growth*, Universe Books, Nueva York.
- MEDLOCK III, K., y SOLIGO, R. (2001), «Economic Development and End-Use Energy Demand», *Energy Journal*, 22(2): 77-105.
- MENDILUCE, M. (2010), «La intensidad energética en España», *Economics for Energy* (www.eforenergy.com).
- (2013), *El transporte de mercancías en España: ¿Quién impulsa su actividad?*, Fundación Repsol, Madrid, en prensa.
- MENDILUCE, M.; PÉREZ ARRIAGA, I., y OCAÑA, C. (2009), «Comparison of the evolution of energy intensity in Spain and in the EU15. Why is Spain different?», *Energy Policy*, 38(1): 639-645.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2011), *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera. 2007*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- OFICEMEN (2012), *Informe anual 2011*, Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (www.oficemen.com), Madrid.
- PANAYOTOU, T. (1993), «Empirical Tests and Policy analysis of Environmental degradation at different stages of economic development», *World Employment Research Programme, Working Paper*, International Labour Office, Geneva.
- RICHMOND, A.K., y KAUFMAN, R.K. (2006), «Energy prices and turning points: the relationship between income and energy use/carbon emissions», *Energy Journal*, 27: 157-178.
- RODRIGUES R.; GÓMEZ-PLANA, A.G., y GONZÁLEZ-EGUINO, M. (2011), «Energy-economic-environmental models: a survey», en GALARRAGA, I.; GONZÁLEZ-EGUINO, M., y MARKANDYA, A. (eds.), *Handbook of sustainable use of energy*, Edward Elgar.
- SORREL, S. (2007), «The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency», Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre (www.ukerc.ac.uk).
- WBCSD (2012), *The energy mix. Low-carbon pathways to 2050*, World Business Council for Sustainable Development, Ginebra.

## ANEXO

La descomposición de índices cuantifica matemáticamente la contribución de cada modo y cada efecto a la evolución del indicador agregado. El interés académico por el análisis de la descomposición de índices comenzó tras la crisis energética de 1973/74, cuando los investigadores trataron de identificar maneras de calcular el impacto del cambio estructural en la producción industrial sobre la demanda energética de la industria. La descomposición de la intensidad energética industrial permitía entender mejor los mecanismos subyacentes en el cambio de la IE y la valoración de las políticas implementadas, así como evaluar las acciones futuras y realizar predicciones a largo plazo del indicador. Con el paso del tiempo esta metodología se ha utilizado para analizar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero o el consumo energético de los sectores o el transporte.

Con el tiempo la metodología ha ido evolucionando hacia técnicas más sofisticadas. Concretamente el método *Log Mean Divisia Index* (LMDI), que se utiliza en este artículo, presenta varias ventajas prácticas para su aplicación que lo hacen preferible frente a otros métodos, ya que, entre otras cuestiones, el resultado no arroja un término residual; además los resultados son consistentes en agregación, lo cual significa que los resultados a nivel de subgrupo pueden ser agregados para dar el efecto correspondiente a nivel de grupo; y es un método con el que se pueden incluir con facilidad más de dos factores, siempre que estén correctamente definidos en la función principal (Ang *et al.*, 2003; Ang, 2005).

En general, la descomposición de un agregado puede realizarse de acuerdo a la siguiente formulación (para más detalle, véase Ang *et al.*, 2003). Supongamos que  $V$  es un agregado con sus factores explicativos,  $V = \sum_i x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i}$  y  $V_i = x_{1,i} x_{2,i} \dots x_{n,i}$ , 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  $V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$  hasta  $V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T$ . 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:

$$\Delta V = V^T - V^0 = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \dots + \Delta x_n$$

$$\Delta V_{x_k} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0) \ln \left( \frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right)$$

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

$$L(a, b) = \frac{a - b}{\ln a - \ln b},$$

para  $a \neq b$  y  $L(a, b) = a$  para  $a = b$ .

En el caso concreto que aquí se propone, la variación de la intensidad energética en España ( $I^T - I^0$ ) se puede descomponer en tres factores: el efecto estructural ( $EE$ ), el efecto intrasectorial ( $IE$ ) y el efecto residencial ( $ER$ ). Su descomposición en la formulación aditiva sería la siguiente:

$$I^T - I^0 = \left( \sum_i w_i^{T*} \ln \frac{EE_i^T}{EE_i^0} \right) + \left( \sum_i w_i^{T*} \ln \frac{IE_i^T}{IE_i^0} \right) + \left( \sum_i w_i^{T*} \ln \frac{ER_i^T}{ER_i^0} \right)$$

donde

$$w_i^{T*} = L(IE_i^0, IE_i^T) = (IE_i^T - IE_i^0) / (\ln(IE_i^T) - \ln(IE_i^0))$$

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