

Cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España

El crecimiento de la intensidad energética en España frente a la moderación y descenso en otros países europeos cuestiona la sostenibilidad del modelo de crecimiento español. El objetivo de este artículo es analizar cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España e identificar los factores clave que permiten explicar por qué la intensidad energética en España sigue una evolución distinta a la de otros países europeos. Se utiliza la metodología de desagregación de índices para el análisis de la intensidad energética en España y se compara con la evolución de la UE15. Este análisis se complementa con un resumen de los principales factores que afectan a los sectores económicos y al sector residencial.

Espainian gora egin du energia-intentsitateak, eta Europako beste hainbat herrialdetan, berriz, bere horretan mantendu da edo jaitsi egin da. Horrek zalantzan jarri du Espainiako hazkunde-ereduaren iraunkortasuna. Egitura-aldaketek Espainiako energia-intentsitatean zer-nola eragiten duten aztertzea da artikulu honen helburua, eta, horrez gain, faktore erabakigarriak aurkitzea, Espainiako energia-intentsitateak Europako beste herrialde batzuetako bilakaera berdina zergatik izan ez duen azaltzeko. Desagregazio-indizea baliatu da, Espainiako energia-intentsitatearen analisisa egiteko, eta EB15eko bilakaerarekin alderatu da. Analisi hori osatzeko, sektore ekonomikoei eta etxebizitza-sektoreari eragiten dieten faktore nagusien laburpena jasotzen du artikuluak.

The increase in energy intensity in Spain, as opposed to the moderation and reduction in other European countries, questions the sustainability of the Spanish economic growth model. The objective of this paper is to analyze how structural changes affect energy intensities in Spain and to identify the key drivers that explain the differences with other European counterparts. The index decompositions methodology is chosen and applied to energy intensities in Spain and is compared to EU15 evolution. This analysis is complemented with a summary of the key factors affecting the economic sectors and households.

ÍNDICE

1. Introducción
 2. Estado de la cuestión
 3. Identificación del modelo de desagregación
 4. Análisis de la desagregación de la intensidad energética
 5. Evolución de los sectores
 6. Conclusiones
- Referencias bibliográficas
Anexo I
Anexo II

Palabras clave: Intensidad energética, modelos de descomposición, cambio estructural, eficiencia energética

N.º de clasificación JEL: Q4; Q5; O1.

1. INTRODUCCIÓN

La intensidad energética (IE) es uno de los indicadores que se utilizan para medir cómo influye la energía en el grado de desarrollo humano y de progreso de los países y suele considerarse como un indicador del grado de eficiencia energética de la economía.

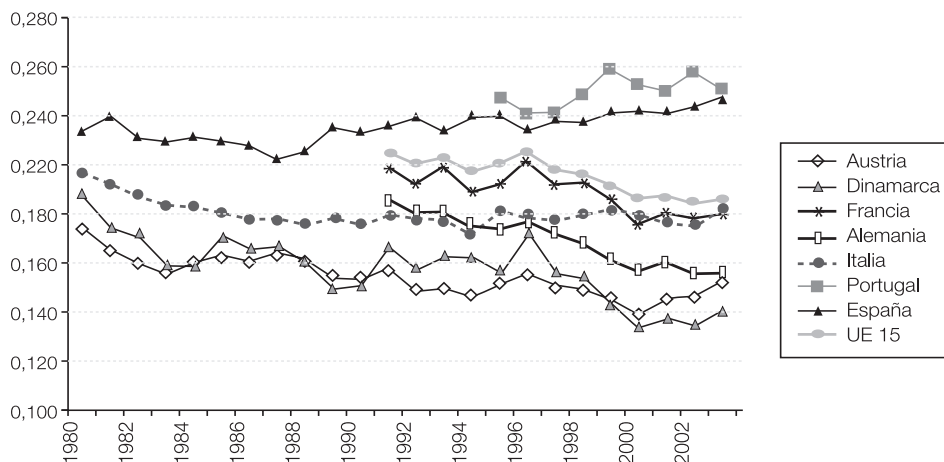
El indicador se calcula como el cociente entre el consumo energético (CE) en kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep) y el producto interior bruto (PIB) en este caso en millones de euros constantes con base 1995 (M€ 95). La evolución de la IE indica a su vez cómo evolucionarán las emisiones de CO₂ de cualquier país una vez que se aplican los factores de emisión a los diferentes tipos de energía consumidos.

Desde mediados de los años 70 la IE ha experimentado una reducción en términos generales en los países desarrollados. Sin embargo, en España la IE se redujo ligeramente en los años 80 y no ha parado de crecer desde entonces. Este incremento ha llevado aparejado un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero, concretamente desde 1990 hasta 2004 las emisiones han crecido un 48%, mientras que el objetivo para 2010 es del 15%. Además, el alto grado de dependencia energética de la economía española (importa el 86% de la energía consumida) y los altos precios del petróleo son cuestiones preocupantes que se ven acentuadas por el hecho de que cada año el país necesita más energía por valor añadido. En definitiva, la economía española podría estar perdiendo competitividad con respecto a los países de su entorno, ya que tiene una IE más alta y creciente, lo que la convierte en más vulnerable a cambios en los precios

¹ Este artículo es resultado de un trabajo de investigación tutelado por Yolanda Fernández Jurado e Ignacio Pérez Arriaga de la Universidad Pontificia de Comillas.

Gráfico n.º 1

La intensidad energética en Europa
(ktep/ M€ 95)



Fuente: Elaboración propia a partir de EUROSTAT (2006b) e IEA (2006).

energéticos y supone una factura medio-ambiental proporcionalmente mayor.

Este artículo forma parte de un análisis más extenso de la problemática de la intensidad energética (Mendiluce, 2006) y su objetivo es responder a dos preguntas: *¿cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España?* y *¿por qué la intensidad energética en España está creciendo mientras que en el resto de países europeos está reduciéndose?* Para ello se analizarán las principales aportaciones teóricas de otros investigadores sobre la relación entre crecimiento económico y CE. Después se describen los modelos de desagregación de índices, que se aplican a la IE en España y en la UE15, para poder cuantificar cómo los cambios estructurales y de eficiencia en los sectores han determinado la evolución de las intensidades

energéticas. Finalmente, se complementan los resultados de este análisis con una descripción de la evolución de los sectores de manera cualitativa antes de acabar con unas conclusiones

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

A continuación se hace una breve revisión de la literatura sobre la intensidad energética. En primer lugar se centra el análisis en el debate entre defensores y detractores de las teorías de «desmaterialización». En segundo lugar, se identifican los factores que según la literatura más influyen en la evolución de la IE, así como aquellos en los que no existe consenso. Finalmente, se citan los estudios que abordan de forma directa o indirecta el análisis de la IE en España.

El debate sobre la sostenibilidad del crecimiento económico ha resurgido constantemente en la literatura económica desde perspectivas neomalthusianas. En 1972, Meadows *et al.* reabrió el debate con la publicación *Los límites al crecimiento*, en la que defendía que el crecimiento económico exponencial conduciría al colapso ecológico aunque se anticiparan soluciones tecnológicas para la escasez de recursos y la prevención contra la contaminación.

A raíz de este libro y del vivo debate que generó, han surgido numerosas investigaciones teóricas y empíricas que rebaten estas opiniones a través de la teoría de la «desmaterialización» de la economía. La definición de desmaterialización más utilizada se refiere a la «reducción absoluta o relativa de la cantidad de materiales utilizados para producir una unidad de producto económico» (Cleveland, 1999: 16), lo cual puede suceder por cambios estructurales o tecnológicos. Los defensores de la desmaterialización demostraban que en los países ricos existe un determinado nivel de renta per cápita a partir del cual un mayor crecimiento económico implicaba una reducción del consumo de recursos y de la contaminación, lo cual equivale a una reducción de la IE (Bernardini *et al.*, 1993). Esto sucede porque a medida que las naciones se industrializan el crecimiento del sector industrial necesita más energía, mientras que el sector de la agricultura decrece. En la siguiente fase de crecimiento la participación del sector servicios en el PIB se incrementa, y como este sector en principio consume menos energía, se produce una disminución de los recursos energéticos, lo cual reduce las necesidades energéticas globales.

Estas tesis cobraron cierta validez cuando, tras las dos crisis del petróleo, muchos países redujeron la IE, lo que parecía pre-

sagiar el «deseado desacoplamiento» entre el crecimiento económico, y el consumo de energía y recursos naturales. Este comportamiento llevó a que algunos economistas sugirieran que las economías más desarrolladas presentaban una relación entre crecimiento económico y deterioro ambiental o consumo en forma de «U-invertida», lo cual se asemeja a las conclusiones de los trabajos de Kuznets (1955) sobre el crecimiento económico y el aumento de la desigualdad, por lo que se decidió bautizar el descubrimiento como la «Curva de Kuznets Ambiental» (CKA). La desmaterialización de la economía y la idea de que el crecimiento garantiza la sostenibilidad resultaba muy atractiva para los economistas más ortodoxos.

Sin embargo algunos investigadores han demostrado de forma empírica que aunque algunos países han pasado fases de desmaterialización relativa, durante la década de los noventa se produce un punto de inflexión a partir del cual la IE comenzó a crecer en algunos países, lo que reflejaba una tendencia «rematerializadora», donde la curva tenía una trayectoria en forma de «N» (en vez de la «U invertida»), por lo que se sucederían episodios de «desmaterialización», seguidos de períodos de fuerte exigencia de energía y materiales por parte de las economías industrializadas. Hay que tener en cuenta que el incremento de renta de los consumidores genera nuevas demandas y se traduce en una proporción mayor del sector residencial, comercial y de transporte en la demanda.

La crítica a la CKA fue liderada por Arrow *et al.* (1995) que consideraba que la CKA sólo se aplicaba a contaminantes locales a corto plazo (como el SO₂) pero no para contaminantes con efectos a largo plazo como el CO₂. Por otra parte, estas

teorías no tenían en cuenta el cambio estructural de la economía mundial ni la deslocalización de actividades intensivas en energía hacia países con menores restricciones medioambientales.

En definitiva la pretensión de que la desmaterialización lleva a un modelo económico más sostenible ha sido muy cuestionada. Una reducción de la cantidad de energía por output no implica necesariamente una mejora desde el punto de vista medioambiental y aunque se produzca una mejora de la eficiencia energética, el desarrollo económico agregado total podría aumentar el CE en términos absolutos.

La literatura identifica como factores que afectan a la evolución de la intensidad energética el cambio estructural, el cambio tecnológico y los combustibles utilizados. Sin embargo, existen discrepancias entre los investigadores sobre los efectos que producen los precios, la sustitución de los inputs en la función de producción, los cambios en las preferencias de los consumidores y el efecto saturación.

Las nuevas teorías del crecimiento destacan el importante papel de la acumulación de conocimientos en el crecimiento económico y parece razonable pensar que dicho conocimiento acumulado ayudará a utilizar los diferentes recursos de forma más eficiente (Roca *et al.*, 2003). Sin embargo, el progreso tecnológico no implica necesariamente una reducción directa de la IE, porque muchas veces la innovación incurre en un mayor CE y también por el «efecto rebote» (Schipper *et al.* 2000; Carpintero, 2003). Tras la introducción de un proceso innovador, el efecto rebote induce a un mayor CE por la sensación de riqueza que produce el coste energético ahorrado, que se utiliza para adquirir otros bienes

que requieren energía y porque el ahorro de energía reduce el precio de dicho servicio, lo que produce un incremento de la demanda del mismo.

Por otro lado, la sustitución de unas fuentes energéticas por otras, como la electricidad, con mejores características para ciertos usos —coste, disponibilidad, regulación y funcionalidad— favorece actividades de mayor valor añadido bruto (VAB). Esta mejor «calidad» representa la utilidad económica por valor calorífico de cada unidad de combustible² (Stern *et al.*, 2004); por ejemplo la electricidad utilizada por el ordenador genera un VAB mayor que otros procesos productivos y no tiene sustituto energético factible. Por eso Stern *et al.* afirma (como ya lo hizo Schurr en 1984) que la mayor parte de la reducción de la IE viene de la mejora de la calidad energética, lo cual no significa que se consuma menos energía, sino que ésta produce más VAB.

Una subida de precios energéticos promueve teóricamente el ahorro energético mediante la contracción del consumo, la sustitución de inputs energéticos y la introducción de avances tecnológicos hacia procesos menos intensivos en energía. En la práctica, se ha demostrado para España la independencia del CE ante variaciones de precios entre 1964 y 1990 (Cuerdo, 2000) y para Estados Unidos se llegó a la conclusión de que solamente una cuarta parte de la mejora de eficiencia energética entre 1973 y 1990 se produjo por el efecto de los precios altos, mientras que otra cuarta parte de la reducción fue motivada por la regulación del Gobierno sobre etiquetado energético (Newell *et al.*, 1999).

² Stern clasifica así las energías de mayor a menor calidad: electricidad, gas, petróleo, carbón, madera y biocombustibles.

Los investigadores no acaban de demostrar si existe realmente esta relación de sustitución entre energía y trabajo o capital y aunque el efecto saturación contribuye a la disminución de la IE con una renta creciente, puesto que, por ejemplo, no existe tiempo material para consumir más energía en calefacción, pueden surgir nuevas demandas, por lo que podrían sucederse períodos de desmaterialización y rematerialización a lo largo del tiempo.

Por último, existen otro tipo de aspectos sociológicos y culturales que afectan a las preferencias de los individuos en cuanto a su CE. La concienciación respecto al ahorro energético está influida en parte por el grado en el que un país evoluciona desde los valores materialistas, en los que lo importante es la cantidad, a valores post-materialistas, donde prima la calidad (Pérez Arriaga *et al.*, 2005). Así, cuando se alcanza un determinado nivel de renta, cambian las preferencias de los consumidores y se puede decidir consumir más «calidad ambiental», aunque sea a costa de un consumo menor de otros bienes y servicios (Roca *et al.*, 2003).

En los últimos años se han publicado numerosos estudios encaminados a una mayor comprensión del vínculo entre el crecimiento económico y la demanda de energía por áreas geográficas (Sun, 2002), para comparar los sectores claves en Europa a través de modelos input-output (Alcántara *et al.*, 2004), para calcular las curvas que relacionan la IE con la renta per capita y por sectores (Medlock *et al.*, 2001) y para analizar cómo afecta el cambio estructural en la IE (Schäfer, 2005), por mencionar algunos de ellos.

Por otro lado, existen varios trabajos que analizan, de forma directa o indirecta,

la IE en España desde diferentes perspectivas: ecología industrial (Carpintero, 2003; Ramos-Martín, 2003), microeconómica (Aranda *et al.*, 2003), medioambiental (Roca *et al.*, 2003; Alcántara *et al.*, 2004), fiscal (Labandeira *et al.*, 2004), relaciones multivariantes de causalidad (Climent *et al.*, 2006), evolución industrial (Alcántara *et al.*, 2004; Cuervo, 2000) e IE regional (Ansuategi *et al.*, 2003).

Hasta donde el autor conoce, no se ha analizado de manera global por qué la IE en España está siguiendo una evolución diferente a la de otros países. El análisis de cómo el efecto estructural, la intensidad intrasectorial de los sectores económicos y el efecto del sector residencial ha influido en la IE de España y de la UE15 puede permitir identificar las claves que explican esta evolución desigual.

Para llevar a cabo este análisis, la literatura muestra que el método de descomposición de índices es la más utilizado y el que mejor se aproxima al objetivo de cuantificar los efectos que influyen en la evolución desigual del indicador en los países (véase Ang *et al.*, 2000 para una completa revisión de este método). Los análisis de descomposición se clasifican en los métodos de descomposición estructural, que utilizan los datos procedentes de las tablas input-output, y los métodos de descomposición basados en índices, que efectúan el análisis a partir de datos sectoriales. Dentro de este grupo hay una amplísima variedad de métodos, que se podrían agrupar en dos grupos principalmente, los métodos tradicionales—Laspeyres, Paasche, Marschall-Edgeworth, Fischer ideal y Stuvell— y los métodos Divisia-Törnqvist, Vartia (también llamado LMCDI) y Sato-Vartia.

3. IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DE DESAGREGACIÓN

El modelo de desagregación de índices permite analizar la variación de la IE e identificar cual ha sido la aportación de los cambios estructurales (D_{str}), de los cambios tecnológicos y mejora de eficiencia de los sectores productivos (D_{int}) y del sector residencial (D_{resid}). La aportación original de este estudio es la introducción del consumo de los hogares y del transporte en automóvil en el análisis. Estos sectores consumen el 20% del consumo energético en España y han experimentado fuertes crecimientos en los últimos años. En este punto es conveniente aclarar que la agregación de las ramas económicas en la contabilidad nacional provoca que los cambios intrasectoriales se confundan como mejoras de eficiencia cuando pueden estar ocasionados por cambios estructurales de los procesos productivos incluidos en cada rama.

El método de Laspeyres es el que más se ha utilizado en la descomposición de índices de IE y además sirve de base para otros métodos (Fischer, Stuvell). Proviene del índice de Laspeyres de precios y cantidades utilizado en economía, mediante el que se mantiene constante una variable en el año base y se analiza el comportamiento de la otra variable a lo largo del tiempo. El principal inconveniente de este método es que deja una parte de la variación de la IE sin explicar y tiende a infraestimar los efectos tecnológico y estructural. Para conseguir una descomposición perfecta (sin residuo), los investigadores han recurrido a otros índices como el Fischer o Stuvell (véase Liu *et al.*, 2003) aunque tienen el inconveniente de que su aplicación para más de dos factores se vuelve muy compleja y poco operativa (Ang *et al.*, 2003).

En contrapartida los métodos de descomposición paramétrica Divisia han adquirido mayor aceptación en los últimos años, ya que aportan una descomposición con un menor residuo en el método Törnqvist y una descomposición perfecta en el método de media logarítmica Sato-Vartia y LMCDI. Dentro de esto dos últimos, el método LMCDI, tal y como lo describe el profesor Ang (Ang *et al.*, 2003; Ang, 2005), tiene además de su fundamento teórico varias ventajas prácticas para su aplicación: los resultados del cálculo multiplicativo tienen la propiedad aditiva por la que $\ln(D_{tot}) = \ln(D_{x1}) + \ln(D_{x2}) + \dots + \ln(D_{xn})$ y existe una relación sencilla entre la descomposición aditiva y multiplicativa por lo que $\Delta IE_{tot}/\ln(D_{tot}) = \Delta IE_{xk}/\ln(D_{xk})$ para todo k, lo cual convierte en innecesario realizar la descomposición en los dos métodos. Además, los resultados del método LMCDI son consistentes en agregación (a diferencia del método Sato-Vartia), lo cual significa que los resultados a nivel de subgrupo pueden ser agregados para dar el efecto correspondiente a nivel de grupo. Por último, es un método sencillo de aplicación y se pueden incluir con facilidad más de dos factores siempre que estén correctamente definidos en la función principal.

Por todos estos motivos se elige el método LMCDI (véase Anexo I para una descripción de su formulación) para su aplicación a la evolución de la IE en España en el período 1980-2004. Después se aplicará este modelo a la UE15 con el objetivo de identificar las principales diferencias con respecto al caso español.

4. ANÁLISIS DE LA DESAGREGACIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA

Antes de mostrar los resultados del modelo de desagregación es conveniente rea-

lizar una serie de matizaciones sobre el cálculo de la IE. En primer lugar, en este trabajo se han utilizado las cifras de PIB en euros constantes con base 1995 para que la inflación no altere los resultados. Sin embargo, cuando se comparan países con distinto poder adquisitivo, sería adecuado utilizar el indicador ajustado a la paridad de poder de compra (PPC), pero la OCDE publica las cifras de PPC para los sectores consumidores y no para los sectores productores, por lo que no se puede ajustar los valores añadidos brutos sectoriales (OCDE, 2004). En la comparación de la IE agregada ajustada a la PPC, las distancias entre los países se acortan y los países convergen hacia niveles similares. En segundo lugar, se incluye en el análisis el sector energía que consume energía primaria para producir energía secundaria (productos petrolíferos y electricidad principalmente). Se debe tener en cuenta que, a veces, las mejoras de eficiencia de algún sector se deben a la sustitución de su consumo final de carbón por electricidad por ejemplo, de manera que los consumos de transformación no se reflejan como energía consumida por el sector y arrojan ratios más favorables. Por último, cualquier estudio comparativo debe analizar no sólo las variaciones relativas al PIB, sino también las diferencias en términos absolutos y per capita (pc). Así, se da la paradoja de que España, que ocupa unos de los lugares más bajos en la lista de CE pc, tiene una IE superior a la media, lo cual se explica porque la diferencia entre la renta pc de la media europea y los españoles es superior a la diferencia en el CE pc.

En el gráfico n.º 2 se muestran los resultados de este ejercicio de desagregación para el período 1980-2004 y en el gráfico n.º 3 para el período 1990-2004, especialmente significativo por ser el período de re-

ferencia del Protocolo de Kyoto. La información contenida en la base de datos utilizada es fruto de una compleja selección y armonización de los datos disponibles (a partir de los datos suministrados por el IDAE, 2006; IEA, 2006; EUROSTAT, 2006b) así como a la subsanación de las lagunas existentes en las fuentes originarias (Anexo II), lo que permite obtener finalmente una perspectiva comparada de la IE para el período 1980-2004. Los resultados se muestran siguiendo el método aditivo, por lo que la variación de la IE (D_{tot}) es el resultado de sumar los efectos estructurales (D_{str}) e intrasectoriales (D_{int}) de los sectores y el efecto residencial y del transporte privado.

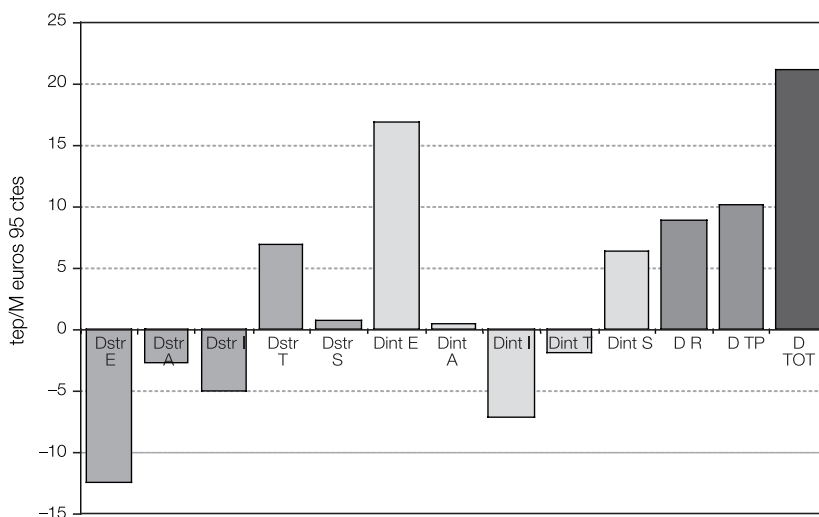
Por la lectura de los resultados se puede responder a la pregunta *¿cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España?* diciendo que si analizamos el período total (1980-2004) los cambios estructurales reducen la IE total en 12,6 tep/M€ por la disminución del peso de la energía, agricultura e industria en la economía. Sin embargo, para el período 1990-2004, este efecto apenas influye en la IE, así que los principales cambios se producen en la década de los ochenta. El transporte aumenta significativamente la IE total por su efecto estructural (6,8 tep/M€) derivado del incremento de actividad que se produce con la entrada en la UE y la globalización de los mercados.³

Por lo que se refiere al efecto intrasectorial, incrementa la IE total en 14,7 tep/M€ entre 1980 y 2004, pero es sobre todo entre 1990 y 2004 cuando su influencia es mayor (71% del incremento total). Por sectores, la industria reduce en 7 tep/M€ la IE total en-

³ Se debe tener en cuenta que tanto el sector del transporte como el de la energía aportan más valor a las economías que el reflejado en su VAB.

Gráfico n.º 2

**Desagregación de la intensidad energética en España
(1980-2004)**



Fuente: Elaboración propia.

Nota: D_{tot}: Variación IE; D_{str}: Efecto estructural; D_{int}: Efecto intrasectorial; E: Energía; A: Agricultura; I: Industria; T: Transporte; S: Servicios; D R: Efecto de los hogares; D TP: Efecto transporte privado.

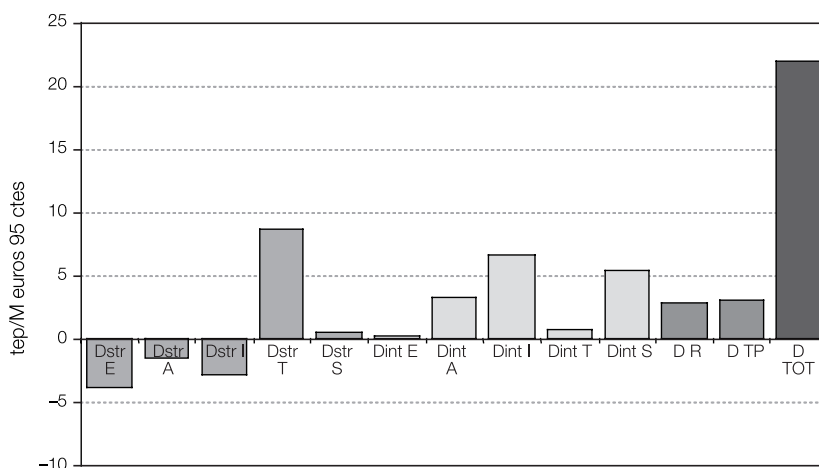
tre 1980 y 2004 y lo hace sobre todo en la década de los ochenta como consecuencia de la reconversión industrial y la disminución o cierre de las actividades industriales más intensivas en energía. Sin embargo, el crecimiento de la IE en este sector a partir de 1990 empeora los resultados y es la principal diferencia con la UE15. Esta es una conclusión interesante puesto que son precisamente estos sectores los que dicen haber realizado mayores progresos.

El efecto intrasectorial de los servicios contribuye con el 30% del incremento de la IE total entre 1980 y 2004 y se debe a las mayores necesidades energéticas a partir de los noventa, en cierta medida ligadas a

la mayor utilización del aire acondicionado, de los equipos ofimáticos y de los equipos electrónicos, condicionado por el fuerte desarrollo de la actividad turística, que es una actividad más intensiva en energía que otras actividades terciarias.

Finalmente el sector residencial y el transporte privado tienen una contribución significativa en la marcha del indicador. Sólo Schäfer (2005) ha incluido el sector residencial en el análisis de la IE y, además, ésta es la primera vez que se incluye el transporte privado. Esta inclusión es muy importante puesto que estos dos sectores tienen una influencia muy significativa sobre el consumo energético de los países y

Gráfico n.º 3
Desagregación de la intensidad energética en España
 (1990-2004)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: véase nota del gráfico n.º 2.

son responsables de buena parte del crecimiento de las emisiones en España. Estos sectores aportan 9 y 10 tep/M€ al crecimiento de la IE total entre 1980 y 2004 por el proceso de convergencia hacia niveles de consumo energético per cápita.

Como se decía al inicio, la siguiente pregunta que surge es *¿por qué la intensidad energética en España está creciendo mientras que en el resto de países europeos está reduciéndose?* Concretamente en España la IE ha aumentado un 9,6% entre 1990 y 2004 mientras que en la UE15 se ha reducido en un 10,8% entre 1991 y 2004 (no se publican sus datos de PIB para 1990, véase Anexo II).

Como se puede apreciar en el gráfico n.º 4, sólo la evolución del efecto estructu-

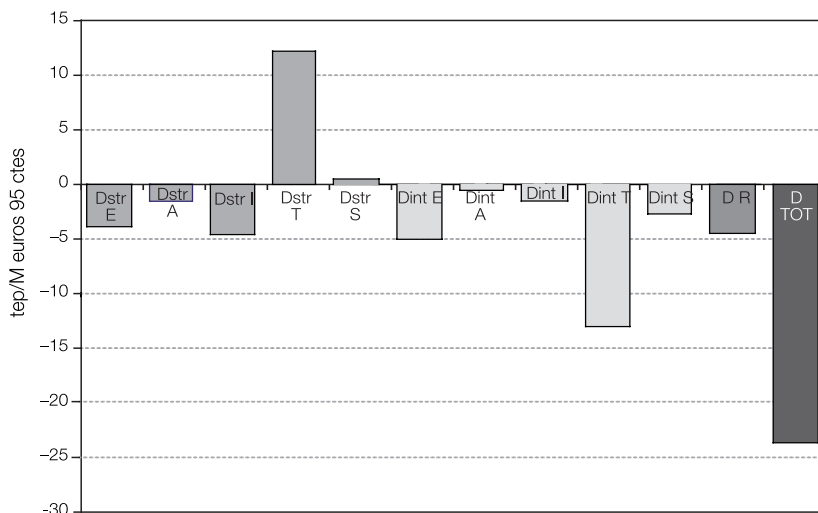
ral del transporte es similar a la de España, y eso que como se explica en el Anexo II, los ratios no son estrictamente comparables. Por otro lado, la mejora de la intensidad intrasectorial en la UE-15 es tan fuerte en el transporte, que anula el incremento estructural.

La principal diferencia entre España y la UE15 se encuentra en el efecto intrasectorial europeo que reduce la IE total en 23 tep/M€, sobre todo en el transporte, como se ha mencionado, pero también en el sector energía.

Otra diferencia se encuentra en el sector residencial español, que como hemos visto aumenta su IE en un proceso de convergencia hacia niveles europeos de equipamiento y renta per cápita, mientras que en Europa

Gráfico n.º 4

**Desagregación de la intensidad energética en la UE15
(1991-2004)**



Fuente: Elaboración propia.

Nota: véase nota gráfico n.º 2.

son más fuertes las mejoras de eficiencia, sobre todo en calefacción, tal y como sucede en el sector servicios. En esta área la distribución de calor en el sector residencial explica buena parte de las diferencias.

Mediante esta desagregación de la intensidad sectorial por sectores y por efectos, se ha podido verificar que para la UE15 la reducción de la IE muestra signos de encaminarse hacia un modelo energético más eficiente, puesto que relativamente consigue «crecer más con menos» energía e incluso se está produciendo una contención de la emisiones. Sin embargo, la evolución en el caso español muestra un aumento de la intensidad energética, que da lugar al crecimiento de las emisiones.

Para completar este análisis se muestran los niveles de intensidad energética de España y la UE15 en el cuadro n.º 1. Se debe tener en cuenta que las variaciones de intensidad se han trasladado a la IE total en función del peso de cada sector sobre el consumo energético y PIB.

En España, la IE de la energía es más alta y la mezcla de tecnologías de generación eléctrica ha tenido una influencia muy importante en el indicador, como se comentará en el siguiente apartado. La industria española aumenta su IE, alejándose aún más de los niveles europeos, y para el transporte la cifra comparable con la de la UE15 es en 2004 un 44% superior al dato europeo. Sólo los servicios y el residencial

Cuadro n.º 1
Comparación de la intensidad energética en España y en la UE15
 (tep/M€ cte 95)

	España			UE15		
	1990	2004	Var (%)	1990	2004	Var (%)
Energía	1.923	1.921	-0,1	1.967	1.815	-7,7
Agricultura	87	161	84,2	147	125	-14,9
Industria	179	201	12,8	153	146	-4,1
Transporte	785	795	1,3	696	521	-25,1
Terciario	16	25	57,0	31	27	-14,3
Residencial	25	27	11,1	41	37	-11,0
Transporte privado	20	23	14,5			
Total	228	250	9,6	219	196	-10,8

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La IE de los sectores residencial y transporte privado para España se obtiene dividiendo su consumo energético por el PIB total. Los datos de la UE15 muestran unos ratios sobrevalorados para los servicios por no incluir la rama de Comunicaciones. El transporte incluye en su VAB esta rama y en el consumo energético el correspondiente al transporte privado.

en España tienen una IE más baja que en la UE15, pero muestran una clara convergencia hacia esos niveles.

A modo de conclusión, la IE total entre 1990 y 2004 en España crece en casi todos los sectores mientras que en la UE15 sucede lo contrario. Por sectores el transporte (tanto de mercancías como privado), los hogares y los servicios son responsables de la mayor parte del incremento.

5. EVOLUCIÓN DE LOS SECTORES

En la función explicativa de la intensidad energética no se ha podido incluir todos los factores que tienen una incidencia en la IE como pueden ser los precios energéticos, la disponibilidad de recursos ener-

géticos para la generación de electricidad, las diferentes estructuras económicas, la regulación de los mercados energéticos, el grado de desarrollo económico y social, las condiciones climáticas, etc. Ante la falta de estadísticas fiables y homogéneas para estos factores, se analiza a continuación algunos de los aspectos más significativos que influyen en los sectores, con el objetivo de complementar el análisis de la IE en España.

a) *Energía*

El sector energético es el más intensivo en energía, puesto que al transformar energía primaria (petróleo, carbón, gas, etc) en energía final (electricidad y productos petrolíferos principalmente) se producen unos

Cuadro n.º 2
Generación de electricidad en España y en la UE15

	UE15		España		Eficiencia <i>output/input</i>	Emisiones kg CO ₂ por kWh
	1990	2004	1990	2004		
Carbón	37,4%	26,9%	40,1%	29,0%	0,35	0,9
Fuel	9,0%	4,3%	5,7%	8,6%	0,4	0,36
Gas	7,0%	20,7%	1,0%	20,0%	0,56	0,7
Nuclear	33,6%	32,5%	35,9%	23,0%	0,33	0
Hidrógeno	12,2%	10,2%	16,8%	11,4%	1	0
Renovable	0,2%	2,4%	0,0%	5,6%	1	0
Biomasa	0,7%	3,1%	0,4%	2,4%	1	0

Fuente: Elaboración propia a partir de la IEA (2006).

Nota: Los valores de eficiencia de las tecnologías son indicativos, según el modelo de la IEA

consumos y unas pérdidas de transformación. La mezcla de tecnologías en la generación de electricidad tiene un efecto muy importante en la eficiencia de cualquier país, puesto que se necesitan menos tep de gas para producir electricidad que de carbón (cuadro n.º 2).

La demanda de electricidad ha crecido un 83% entre 1990 y 2004 en España, muy superior al incremento del 30% en la UE15. Para cubrir esta demanda se tuvo que recurrir en primer lugar al carbón, y a partir de 2000 a las renovables y al gas, lo cual tiene una incidencia neutral en el indicador de IE, como se ha visto en la tabla n.º 1. Sin embargo tiene una enorme influencia en las emisiones, puesto que en 1990 el 53% de la generación no las producía y en 2004 ese porcentaje se redujo al 42%. Los sectores que más han contribuido a este incremento han sido la siderurgia y metalurgia, los minerales no metálicos, el sector terciario y los hogares. En este punto es necesario destacar que los

dos primeros sectores cuentan con unas tarifas especiales muy ventajosas y para los servicios y los hogares la factura eléctrica supone un importe reducido de sus costes y presupuestos, lo cual no incentiva la inversión en equipamiento más eficiente ni en un consumo responsable.

Para mejorar la eficiencia en este sector, y reducir las emisiones, se debería producir más con gas y renovables en lugar de carbón, tal y como se deduce de la tabla n.º 2. En el caso de las renovables, la regulación española incentiva su utilización con un sistema de primas y la obligación de compra de toda su producción por parte del distribuidor de electricidad. Sin embargo, una mayor penetración del gas en el mercado mayorista dependerá de sus costes marginales, por ahora superiores a los del carbón, y desde 2005, del coste de los derechos de emisión, que no ha sido lo suficientemente alto como para compensar la diferencia de coste de la generación con carbón.

El sector eléctrico puede tener una influencia decisiva en la mejora de la intensidad energética española, puesto que cada kWh no consumido supone un ahorro de 2,5 kWh de energía primaria y la sustitución de un kWh producido por carbón por otro producido con energías renovables supone un ahorro del 64% de la energía primaria y de un 20% en el caso del gas.

b) *Industria*

Ha quedado demostrado que la IE industrial ha jugado un papel clave en la contención de la IE total en la década de los 80, pero aumenta a partir de 1990, lo cual acrecienta las diferencias con la UE15 (201 tep/M€ en España frente a 146 tep/M€ en 2004).

Una de las razones de esta evolución es que las actividades industriales más intensivas en energía han cobrado mucho protagonismo en los últimos años en España a diferencia de otros países: la construcción (incluyendo aquí la rama de minerales no metálicos) y la siderurgia y metalurgia. En España estos sectores aportan el 13% del VAB y consumen el 34% del CE, mientras que en la UE15 estos sectores tienen una menor importancia en la economía, con un 9% del VAB y un 6% del CE. Estos datos indican que en Europa se ha evolucionado hacia una producción económica en actividades de mayor valor añadido (lo que podría deberse a la deslocalización de actividades intensivas en energía) y, por otro lado, que la fuerte actividad constructora de los últimos años en España ha tenido una repercusión importante en el CE de estos sectores.

No obstante, en España existe todavía potencial de reducción de la IE industrial (Aranda *et al.*, 2003) pero los ahorros pro-

ducidos por las mejoras de eficiencia y los bajos precios de la energía (sobre todo de la electricidad) se han destinado a mejorar la calidad del producto, lo que conlleva un incremento del CE. En este sentido, resulta destacable cómo la regulación del sector eléctrico produce efectos perniciosos, ya que los grandes consumidores industriales disfrutaban de unas tarifas muy reducidas y alejadas del precio del mercado, lo cual fomenta su competitividad internacional, pero al mismo tiempo, induce a un círculo vicioso del consumo energético.

Por último, la fuerte penetración del gas y la electricidad en la industria (70% de los consumos) ha tenido un efecto muy positivo en la IE final del sector, ya que la sustitución del carbón por el gas y la electricidad significa que la eficiencia energética final pasa del 36% al 56% y 100% respectivamente, como se refleja en la tabla n.º 2, pero esta mejora podría producirse a costa del empeoramiento de la IE del sector eléctrico, que tiene que producir esa electricidad a partir de las energías disponibles.

c) *Transporte*

La fuerte movilidad de mercancías y viajeros ha convertido al sector del transporte en el primer demandante de energía, cuya consecuencia inmediata ha sido el empeoramiento de la calidad del aire de las ciudades y el fuerte crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este crecimiento, unido al del sector eléctrico, ha hecho que las emisiones superen en 2005 en un 52% las de 1990, porcentaje muy superior al compromiso internacional asumido.

El mantenimiento de las tendencias actuales de crecimiento del transporte es insostenible. Por ello, uno de los objetivos de la política medioambiental es des-

vincular el transporte del desarrollo. Este desacoplamiento es uno de los retos más difíciles a los que se enfrentan las economías desarrolladas puesto que el transporte de mercancías seguirá creciendo con la globalización y especialización de los mercados, y la movilidad de las personas continuará en aumento a medida que las economías crecen, según predicen numerosos estudios.

Un análisis de la movilidad en España muestra que tanto el transporte de mercancías como el de viajeros son poco eficientes en términos energéticos, principalmente por el predominio del transporte por carretera. En el caso de las mercancías, los factores que contribuyen a empeorar la intensidad energética son el transporte de productos de bajo valor añadido, la localización geográfica, la globalización y su especialización productiva de la economía española, así como la demanda de suministros rápidos a distancias cortas

Por lo que se refiere a la eficiencia de los modos de transporte, aunque la carretera es el más ineficiente⁴, más del 85% del transporte de mercancías se realiza por este modo porque satisface mejor las prioridades empresariales. Además, la distancia media recorrida se sitúa en los 110 km, distancia en la que el ferrocarril y el barco son menos eficientes, ya que necesitan el complemento del transporte por carretera para la carga y descarga, y son más lentos por la falta de estandarización de las unidades de carga o la carencia de conexiones rápidas y cercanas. Por otro lado, el transporte profesional español presenta una estructura de mercado muy atomiza-

da en comparación con la UE, con unas 130.000 empresas, y un tercio de todo el transporte lo realizan empleados autónomos, que operan con uno o dos vehículos, lo que crea ineficiencias puesto que genera movimiento de vehículos vacíos en viajes de retorno. Finalmente, los precios de combustibles, más reducidos que la media europea por su menor imposición, favorecen a la carretera frente a otros modos de transporte. Además, los costes del transporte constituyen una parte reducida de los costes totales de las empresas y, sin embargo, la accesibilidad a mercados más lejanos y el tiempo cobran mayor importancia en los consumidores.

En cuanto al transporte privado, su crecimiento se debe a un aumento de la población y de la renta disponible, a la preferencia actual por modelos de urbanización dispersa, a la mejora de las infraestructuras y al tratamiento fiscal favorable para los vehículos diesel. A pesar de los fuertes crecimientos del transporte, nuestro país presenta niveles de conducción inferiores a la media europea que hacen probable una convergencia hacia ellos, sin que presumiblemente varíe mucho el modo de transporte elegido.

La dieselización del parque automovilístico español confirma que las políticas fiscales pueden generar modificaciones en el comportamiento de los conductores. El incentivo fiscal a estos vehículos, unido a su menor fiscalidad, han provocado un efecto rebote, puesto que la eficiencia energética de estos vehículos y el menor precio del combustible revierte en un aumento de la renta disponible, que el conductor utiliza para viajar más. Los datos muestran que los vehículos diesel se utilizan de forma más intensiva con un promedio de 16.600 km anuales frente a los 11.000 km de los vehículos de gasolina.

⁴ La eficiencia energética en este caso es la energía (tep) necesaria para mover una determinada masa (ton) a una distancia (km).

Por el momento no existe una alternativa tecnológica que permita prescindir del petróleo para el transporte, puesto que sus posibles sustitutos (electricidad, gas, biocarburantes) tan solo pueden ser considerados como complementarios. Por ello, las medidas para alcanzar esta desvinculación pasan por estrategias basadas en la desmaterialización de la economía en su conjunto, la reducción del ámbito espacial de los flujos de materiales y la optimización de la organización del transporte. Estas estrategias persiguen tres objetivos: reducir el volumen del transporte, reducir las distancias y aumentar la eficiencia.

d) *Terciario*

La IE del sector servicios ha crecido un 57% desde 1990, situándose en 2004 muy cercana a la media europea, que presenta sin embargo una reducción del 14%.

Una de las principales diferencias es que la contribución al PIB de este sector es más baja que en otros países (58% frente al 62% en la UE 15) aunque también el CE es reducido por las menores necesidades de calefacción (al igual que en otros países mediterráneos). Pero así como en los países del norte y centroeuropeos se ha podido aumentar la eficiencia de la calefacción, en los países mediterráneos la capacidad de mejora es más reducida por el limitado uso, en un clima más cálido y porque existe un mayor potencial de crecimiento por el proceso de convergencia con Europa.

Por otro lado, la fuerte penetración del consumo de electricidad en todos los países se explica porque los servicios aportan cada vez un mayor porcentaje de PIB y por la penetración de las tecnologías de la información. En países como España donde la entrada del gas ha sido tardía, la electri-

cidad se utiliza también para calefacción, lo cual unido a los consumos en climatización, aparatos eléctricos e iluminación, hace que en torno al 65% de la demanda de los servicios se cubra con esta fuente energética.

Finalmente, en los últimos años junto al aumento del CE de las oficinas, el sector turístico contribuye especialmente al incremento de la IE sectorial, ya que las actividades de hostelería y restauración son más intensivas en energía y además el modelo de negocio turístico de baja rentabilidad unitaria genera un VAB relativamente menor que el que se produce en otras actividades terciarias, lo cual constituye una de las principales diferencias de los países mediterráneos con el resto de Europa.

e) *Residencial*

Los factores que más impulsan el crecimiento de la demanda energética de los hogares en España son principalmente el incremento de la renta per capita y el mayor número de viviendas y, en menor medida, la propiedad de la vivienda, el nivel de educación y la edad de sus ocupantes. La IE de este sector ha aumentado, frente a descensos en Europa.

La calefacción constituye en casi todos los países el principal CE de este sector (27% en la UE15 y 15% en España). Los factores que influyen en su eficiencia son: el sistema utilizado, la antigüedad del edificio y del sistema, el combustible utilizado, el tamaño de la vivienda, el número de ocupantes y el aislamiento del edificio. La falta de datos impide analizar la evolución de la eficiencia de la calefacción en España, pero sí se puede señalar a partir de la información censal del INE que las necesidades de calefacción han aumentado desde la década de los 70 un 12% por el incremento de los m²

por persona, debido a la construcción de casi 9 millones de viviendas y al descenso del 22% de las personas por hogar, que ha sido compensado por el mantenimiento de la superficie media de las viviendas. Pero lo más destacable de este uso energético en España es que un 15% de las viviendas no dispone de calefacción y un 38% utiliza esporádicamente calefactores (INE, 2002), por lo que el potencial de sustitución y mejora de los sistemas de calefacción es limitado. Por otro lado, la menor necesidad de calefacción se está compensando con un mayor uso de los aires acondicionados.

El Gobierno español ha aprobado un nuevo Código Técnico de Edificación que afecta a las instalaciones de calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación (76% del CE de los hogares) donde se prevén ahorros del 21-37% sólo en sistemas de calefacción. Pero la aprobación tardía de esta normativa ha significado la «pérdida de una oportunidad de oro», ya que en los últimos 6 años se han construido 4 millones de viviendas cuyos ahorros energéticos hubiesen perdurado toda la vida útil de las viviendas. En otros países esta normativa se aprobó hace varios años y se ha podido mejorar la eficiencia de la nueva construcción.

Por lo que se refiere al equipamiento doméstico, la convergencia en la posesión de electrodomésticos en España influye en el indicador y está apoyada por el aumento de los ingresos por hogar, unos precios reducidos de la energía, un mayor acceso a equipos electrónicos y de comunicación, la reducción del ciclo de vida de los productos y las preferencias y costumbres de los españoles.

Por último, los precios de la energía han tenido también su repercusión en el CE de las familias españolas. Según la *Encuesta*

de presupuestos familiares de EUROSTAT (2006a) se destina un 2,9% del presupuesto familiar a las necesidades energéticas del hogar, inferior al 5,8% que se destina de media en la UE porque se consume menos energía y los precios son más bajos. En el caso de la electricidad, entre 1998 y 2004, la demanda ha crecido un 43% pero los españoles han reducido el gasto familiar en un 32%, lo cual desincentiva el ahorro energético. En los últimos años la situación económica favorable y unos precios de la electricidad que acumulan importantes reducciones han impulsado el consumo de electricidad y el crecimiento de la IE, lo que ha llevado a ciertos agentes sociales a hablar de cierto «derroche» en el consumo energético.

6. CONCLUSIONES

La comprensión del vínculo entre el crecimiento económico y el consumo energético en España es fundamental desde un punto de vista de política energética por sus implicaciones en la seguridad de suministro y en los objetivos medioambientales. En este trabajo se ha intentado identificar las claves que han marcado la tendencia del indicador en el pasado para comprender los mecanismos que afectarán a su evolución futura y se ha mostrado un método capaz de monitorizar su progresión. La utilización de este modelo ha permitido cuantificar los diferentes efectos y responder a las preguntas planteadas.

La desagregación de la IE nos permite concluir que España tiene un comportamiento a nivel estructural similar al de la UE15, en el que el sector terciario y el transporte incrementan su peso sobre la economía a costa de la agricultura y la principal razón que explica la evolución desigual del indicador de IE en España es que todos los sectores em-

peoran su eficiencia energética. Incluso la industria que consigue reducir la IE total en el período, lo hace en menor medida que otros países. El factor que más contribuye al empeoramiento del indicador en España y en la UE15 es el efecto estructural del transporte, pero en Europa se logra compensar este efecto con mejoras de eficiencia, que en el caso español son insuficientes para compensar el aumento de la actividad. Por otro lado, en España el sector de servicios y residencial incrementan la IE total, frente a descensos generalizados en otros países, pero como tienen un valor de IE relativamente más bajo, afectan en menor medida al total.

El análisis de la evolución de los sectores ha permitido describir algunas claves diferenciales del comportamiento español. Los dos sectores más intensivos en el consumo de energía, el sector eléctrico y el transporte, son los que más han aumentado su consumo en los últimos años. El ahorro de electricidad ofrece el mayor potencial de reducción de emisiones y de mejora de la IE, puesto que cada kWh no consumido representa un ahorro de 2,5 kWh, pero la tarifa eléctrica no ha incentivado un consumo eficiente en los sectores. Por otro lado, las centrales de carbón, gas y renovables han cubierto esta demanda. Para aumentar la eficiencia de generación y reducir las emisiones, se debería producir más con gas y renovables en lugar de carbón. La regulación actual del sector favorece la generación renovable, sin embargo el carbón es por ahora más competitivo que los ciclos combinados en el mercado mayorista.

Un análisis de la movilidad en España muestra que tanto el transporte de mercancías como el de viajeros son poco eficientes en términos energéticos, principalmente por el predominio del transporte por carretera y la escasa penetración de combustibles al-

ternativos a los derivados del petróleo. En el caso de las mercancías el transporte de productos de bajo valor añadido, la localización geográfica, la globalización y su especialización productiva de la economía española, así como la demanda de suministros rápidos a distancias cortas contribuyen a empeorar la intensidad energética. En cuanto al transporte privado, su crecimiento se debe a un aumento de la población y la renta disponible, a la preferencia actual por modelos de urbanización dispersa, a la mejora de las infraestructuras y al tratamiento fiscal favorable para los vehículos diesel. La fiscalidad del transporte puede influir en el comportamiento de los consumidores y promover una mayor eficiencia en este sector.

Por lo que se refiere a la industria, aunque ha jugado un papel clave en la contención de la IE, no lo ha hecho de forma tan acentuada como en la UE, porque en Europa se ha evolucionado hacia actividades industriales que generan un mayor valor añadido y porque no se ha aprovechado todavía el potencial de mejora de la eficiencia energética.

Finalmente, el sector servicios y los hogares tienen unos consumos energéticos menores por las condiciones climatológicas más favorables, pero que convergen hacia niveles europeos, por el mayor equipamiento, la penetración de las tecnologías de la información y las necesidades de climatización.

Para poder invertir la tendencia de la IE se debería emprender acciones en los sectores más intensivos en energía, como son el sector eléctrico y el transporte, que son proveedores de servicios energéticos. Un sistema de precios en el que se reflejen todos los costes incurridos para el suministro de ese servicio, permitirá que los sectores demandantes consuman energía de forma eficiente.

ANEXO I

Método de desagregación de índices

A continuación se definen las variables del modelo de desagregación para el año t :

- E_t = Total consumo energético.
- $E_{i,t}$ = Consumo energético en el sector i .
- E_R = Consumo energético residencial.
- Y_t = PIB total.
- $Y_{i,t}$ = VAB del sector i .
- $S_{i,t}$ = participación sector i en PIB ($= Y_{i,t}/Y_t$).
- I_t = IE agregada ($= E_t/Y_t$).
- $I_{i,t}$ = IE de cada sector i ($= E_{i,t}/Y_{i,t}$).
- D_{tot} = Variación de la IE total
- D_{str} = Variación por efecto estructura.
- D_{int} = Variación por efecto intrasectorial.
- D_{resid} = Efecto residencial.
- D_{rsd} = Residuo.

La interpretación formal del modelo a aplicar¹ se representa en la siguiente fórmula, donde la IE (cociente entre energía (E_T) y Producto Interior Bruto (Y_T)) se descomponen en función de la eficiencia energética ($E_{i,t}/Y_{i,t}$) de los sectores i (agricultura, industria, servicios y transporte), la participación de cada sector en la economía ($Y_{i,t}/Y_T$) o, lo que es lo mismo, el efecto estructural ($S_{i,t}$) y, por último, el cambio de IE en el consumo residencial (E_R/Y_T), para lo que se considera todo el PIB de la economía, que es en definitiva generado por todo el sector residencial.

$$\frac{E_T}{Y_T} = \sum \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \frac{Y_{i,t}}{Y_T} + \frac{E_R}{Y_T} \quad (1)$$

Si aplicamos la derivada a los dos lados de la ecuación, se obtiene:

$$d \frac{E_t}{Y_t} = \sum d \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right) \frac{Y_{i,t}}{Y_T} + \sum \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} d \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right) + d \left(\frac{E_R}{Y_T} \right)$$

¹ El planteamiento del modelo parte del modelo propuesto por Schäfer (2005) y el método LMCDI introducido por Ang *et al.* (2003).

Ahora, si dividimos la parte izquierda de la ecuación por E_T/Y_T y multiplicamos por Y_T/E_T la parte derecha de la ecuación y además multiplicamos y dividimos estos mismos factores por $E_{i,t}/Y_{i,t}$, $Y_{i,t}/Y_T$ y E_R/Y_T se obtiene:

$$\frac{d \frac{E_t}{Y_t}}{\frac{E_T}{Y_T}} = \sum_i \frac{d \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right) \frac{Y_{i,t}}{Y_T} \frac{E_{i,t}}{E_T} \frac{Y_T}{E_T}}{\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}}} + \sum_i \frac{d \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right) \frac{Y_{i,t}}{Y_T} \frac{E_{i,t}}{E_T} \frac{Y_T}{E_T}}{\frac{Y_{i,t}}{Y_T}} + \sum_i \frac{d \left(\frac{E_R}{Y_T} \right) \frac{E_R}{Y_T} \frac{Y_T}{E_T}}{\frac{E_R}{Y_T}}$$

Eliminando todos los elementos posibles llegamos a:

$$\frac{d \frac{E_t}{Y_t}}{\frac{E_T}{Y_T}} = \frac{\sum_i d \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right) \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)} + \frac{\sum_i \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} d \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right) \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)} + \frac{d \left(\frac{E_R}{Y_T} \right) \left(\frac{E_R}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)}$$

Teniendo en cuenta que: $d \log x = \frac{1}{x} dx = \frac{dx}{x}$ y que $a \log x = \log x^a$.

$$d \log \frac{E_t}{Y_t} = d \left[\sum_i \log \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)^{\left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} + \sum_i \log \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)^{\left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} + \sum_i \log \left(\frac{E_R}{Y_T} \right)^{\left(\frac{E_R}{E_T} \right)} \right] \quad (2)$$

Si calculamos los incrementos de esta función,

$$\Delta \log \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \Delta \log \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)^{\left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} + \sum_i \Delta \log \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)^{\left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} + \sum_i \Delta \log \left(\frac{E_R}{Y_T} \right)^{\left(\frac{E_R}{E_T} \right)} \quad (3)$$

e integramos la parte izquierda de la ecuación,

$$\int_0^T \log \frac{E_t}{Y_t} = \log \left(\frac{E_T}{Y_T} \right)_T - \log \left(\frac{E_T}{Y_T} \right)_0 = \log \left(\frac{E_T}{Y_T} \right)_T$$

Si repetimos las mismas operaciones para la parte derecha de la ecuación (3):

$$\sum_i \left[\log \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right) - \log \left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right) \right] + \sum_i \left[\log \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right) - \log \left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right) \right] +$$

$$\sum_i \left[\log \left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_R}{E_T} \right) - \log \left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_R}{E_T} \right) \right] = \log \prod_i \frac{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \log \prod_i \frac{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \log \prod_i \frac{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_R}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_R}{E_T} \right)}$$

para luego exponenciar ambos lados de la ecuación:

$$\left[\log \left(\frac{E_T}{Y_T} \right)_T \right] = \left[\log \prod_i \frac{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \prod_i \frac{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \prod_i \frac{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_R}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_R}{E_T} \right)} \right]$$

Por lo que la ecuación final de este modelo es:

$$\exp \left(\frac{E_T}{Y_T} \right)_T = \prod_i \frac{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \prod_i \frac{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)}{\left(\frac{Y_{i,t}}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_{i,t}}{E_T} \right)} \prod_i \frac{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_T \left(\frac{E_R}{E_T} \right)}{\left(\frac{E_R}{Y_T} \right)_0 \left(\frac{E_R}{E_T} \right)} \quad (4)$$

A partir de esta ecuación final se obtienen los tres efectos definidos inicialmente:

$$D_{str} = \exp \left[\sum_i W_i' \ln(S_{i,T} / S_{i,0}) \right] \quad D_{int} = \exp \left[\sum_i W_i' \ln(I_{i,T} / I_{i,0}) \right]$$

$$D_{resid} = \exp \left[\sum_i W_i' \ln(E_{R,T} / Y_T) / (E_{T,0} / Y_0) \right]$$

Como no se puede obtener información de estas variables a nivel empírico de forma continua en el tiempo, se debe estimar un valor entre el momento 0 y T. Schäfer (2005) calcula este valor como la media aritmética de la proporción del consumo energético sobre el total de los dos períodos ($1/2 * (E_{i,0}/E_0 - E_{i,t}/E_T) = W'_i$), mientras que Ang *et al.* utiliza la media logarítmica del cociente entre la energía sectorial por el PIB total y las intensidades totales (Ang *et al.*, 2003):

$$W'_i = \frac{L(E_{iT}, Y_T, E_{i,0}, Y_0)}{L(E_T, Y_T, E_0, Y_0)}$$

siendo la media logarítmica de dos números positivos x e y definida como: $L(x,y) = (y - x) / \ln(y / x)$. Utilizamos la aproximación introducida por Ang porque cumple las propiedades antes citadas. Así, la multiplicación de los tres efectos, tal y como se ha definido, es igual a la variación total de la IE: $D_{tot} \equiv D_{str} * D_{int} * D_{resid}$.

ANEXO II

Descripción de los datos utilizados

Los datos de VAB (a precios constantes con base 1995) son publicados por EUROSTAT como NACE 6 y han sido complementados con la NACE 31. Para España se utilizan las estadísticas del IDAE que vienen del INE.

Los datos de consumo energético provienen de los *Balances Energéticos de la IEA* (2005), pero siguiendo la metodología del IDAE se excluyen los consumos no energéticos, por ejemplo, la industria petroquímica. Para el transporte sólo se dispone de la división del CE del transporte privado y de mercancías y viajeros para España (IDAE, 2007), por lo que a efectos comparativos se utilizará un ratio sobrevalorado entre la energía total. Otros investigadores consideran el transporte como un servicio (Schäfer, 2005) y los organismos utilizan el PIB total (IDAE, 2005) para calcular su IE, pero ambos métodos pueden inducir a malas interpretaciones. Dentro del VAB del transporte EUROSTAT incluye para la UE15 el de las «Comunicaciones», por lo que el indicador está infravalorado.

Por último, siguiendo la metodología del IDAE y ADEME, se excluyen del análisis los usos no energéticos de la energía, por lo que además de no incluir el consumo no energético publicado por el IEA dentro de los consumos finales, en la «industria química» y en el «sector industria» se elimina la parte correspondiente a la elaboración de materias primas de la «industria petroquímica».

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, V. y DURO, J.A. (2004): «Inequality of energy intensities across OECD countries: a note», *Energy Policy* n.º 32: 1257-1260.
- ALCANTARA, V. y PADILLA, E. (2002): *Nota metodológica sobre la determinación de sectores «clave» en el consumo de energía final: una primera aproximación al caso español*, Universidad Autónoma de Barcelona, Documentos de trabajo, <http://ideas.repec.org/p/uab/wprdea/wp-0205cast.html>, (11/4/2006).
- ANG, B. W. y ZHANG, F. Q (2000): «A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies», *Energy* n.º 25: 1149-1176.
- ANG, B. W., LIU, F.L. y CHEW, E.P. (2003): «Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis», *Energy Policy* n.º 31: 1561-1566.
- ANG, B. W. (2005): «The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide», *Energy Policy* n.º 33: 867-871.
- ANSUATEGI, A. y ARTO, I. (2003): *La evolución de la intensidad energética de la industria vasca entre 1982 y 2001: un análisis de descomposición*, <http://econpapers.repec.org/>, (11/4/2006).
- ARANDA, A., SCARPELLINI, S. y FEJOO, M. (2003): «Análisis de la Eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro», *Economía Industrial* n.º 352: 11-24.
- ARROW, K., B. BOLIN, R. COSTANZA, P. DASGUPTA, C. FOLKE, C.S. HOLLING, B.O. JANSSON, S. LEVIN, K.G., MALER, C. PERRINGS, D. PIMENTEL, (1995): «Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment», *Science* n.º 268: 520-521.
- BERNARDINI, O. y GALLI, R. (1993): «Dematerialization: long-term trends in the intensity of use of materials and energy», *Futures* May 1993: 431-448.
- CARPINTERO, O. (2003): «Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: entre la desmaterialización y el «efecto rebote»», *Economía Industrial*, n.º 351: 59-76.
- CLEVELAND, C. y RUTH, M. (1999): «Indicators of dematerialization and the materials intensity of use», *Journal of Industrial Ecology*, n.º 2(3): 15-50.
- CLIMENT, F. y PARDO, E. (2006): «Decoupling factors on the energy-output linkage: the Spanish case», *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof.
- CUERDO, M. (2000): «El papel de la demanda intermedia de energía en la industria española (1964-1990)», *Economía Industrial* n.º 331: 121.
- EUROSTAT (2006a): *Breakdown of final consumption expenditure of households by consumption purpose - COICOP 3-digit - Constant prices database*, <http://epp.eurostat.cec.eu.int>, (11/4/2006).
- EUROSTAT (2006b): *Breakdowns (main aggregates and employment by industry, investment by product and consumption by purpose) - Constant prices database*, <http://epp.eurostat.cec.eu.int>, (11/4/2006).
- IDAE (2005): *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables n.º 7*, Septiembre 2005, IDAE, Madrid.
- IEA (2004): *30 years of Energy Use in IEA Countries*, IEA/OCDE, Paris.
- IEA (2005): *Energy balances of OECD countries*, IEA/OCDE, Paris.
- KUZNETS, S. (1955): «Economic growth and income inequality», *American Economic Review* n.º 45: 1-28.
- LABANDEIRA, X., LABEAGA, J. M. y RODRIGUEZ, M. (2004): «Microsimulating the effects of household energy price changes in Spain», *Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Paper* n.º 161, <http://www.feem.it/feem/pub/publications/wpapers/default.htm>, (11/4/2006).
- LIU, F.L y ANG, B.W. (2003): «Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry», *Applied Energy* n.º 76: 15-23.
- MEADOWS, DL., RANDERS, J. y BEHRENS, W. (1972): *The Limits of Growth*, Universe Press, Nueva York.
- MENDILUCE, M. (2006): «Cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España», *Trabajo de Investigación Tutelada*, Universidad de Comillas, Madrid, julio 2006.
- MEDLOCK, K. y SOLIGO, R. (2001): «Economic Development and End-Use Energy Demand», *Energy Journal*, n.º 22 (2): 77-105.
- NEWELL, R.G, JAFFE, A. B. y STAVINS R.N (1999): «The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change», *Quarterly Journal of Economics* n.º 114 (3): 941-975.
- OCDE (2004), *Purchasing power parities and real expenditures*, OCDE, Paris.
- PÉREZ-ARRIAGA, I., PARDO, M. y SANCHEZ DE TREMBLEQUE, L.J. (2005): *La gestión de la demanda de electricidad*, Laboratorio Fundación Alternativas, Madrid.
- RAMOS-MARTÍN, J. (2003) «Intensidad energética de la economía Española: una perspectiva integrada», *Economía Industrial*, n.º 351: 59-72.
- ROCA, J. Y PADILLA, E. (2003): «Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La

- curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto», *Economía Industrial* n.º 351: 73-86.
- SCHÄFER, A. (2005), «Structural change in energy use», *Energy Policy* n.º 33: 429-437.
- SCHIPPER, L. y GRUBB M. (2000): «On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries», *Energy Policy* n.º 28: 367-388.
- SCHURR, S.H (1984): «Energy Use, technological change and productive efficiency: an historical interpretation», *Annual Review Energy* n.º 9: 409-425.
- STERN, D. y CLEVELAND, C. (2004): «Energy and Economic Growth», Rensselaer Working papers in Economics, <http://ideas.repec.org/p/rpi/rpiwpe/0410.html>, (11/4/2006).
- SUN, J.W. (2002): «The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998», *Energy Policy* n.º 30: 631-635.

