

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA (ICAI)**

# **La intensidad energética en España: claves para entender su evolución**

Tesis para la obtención del grado de Doctor

Codirectores: Prof. Dr. D. José Ignacio Pérez-Arriaga

Prof. Dr. D. Carlos Ocaña Pérez de Tudela

Autor: Lic. Dña. María Mendiluce Villanueva



Madrid 2010



**TÍTULO: La intensidad energética en España: claves para entender su evolución**

**AUTOR: Dña María Mendiluce Villanueva**

**CODIRECTORES: Prof. Dr. D. José Ignacio Pérez-Arriaga y  
Prof. Dr. D. Carlos Ocaña Pérez de Tudela**

**DEPARTAMENTO: Instituto de Investigación Tecnológica**

**FACULTAD O ESCUELA: Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE: Dr. Alberto Lafuente Félez      Firma:**

**VOCAL: Dr. Xavier Labandeira Villot      Firma:**

**VOCAL: Dr. Julio Lumbreras Martín      Firma:**

**VOCAL: Dr. Julián Barquín Gil      Firma:**

**SECRETARIO: Dr. Pedro Linares Llamas      Firma:**

**Fecha de lectura: Viernes, 30 de abril de 2010**

**Calificación:**



**La intensidad energética en España:  
claves para entender su evolución**



## AGRADECIMIENTOS

Al escribir esta página de agradecimientos y tratando de cumplir con este tradicional gesto de gratitud, me doy cuenta de las ayudas recibidas a lo largo de estos años son múltiples y de que, grandes o pequeñas, todas han sido importantes. Por ello, y por la imposibilidad de hacer una relación exhaustiva quiero expresar mi agradecimiento general a todos quienes me ayudaron a culminar este trabajo.

Esta tesis no podría haberse realizado sin el incondicional apoyo de mis dos directores Carlos e Ignacio. Ambos han mostrado un gran interés y han sacado tiempo en momentos imposibles para supervisar este trabajo. Desde cuando estuvimos en la Agencia Internacional de la Energía, Carlos me ha dado excelentes consejos y esto es el fruto de su apoyo inicial. Ignacio me ha mostrado su gran vocación investigadora, su incansable capacidad de trabajo y su ayuda desinteresada constantemente. A las 4 de la madrugada, después de un viaje transatlántico, durante las vacaciones, Ignacio siempre ha estado ahí y cualquier agradecimiento se queda pequeño.

En estos años he compaginado la labor investigadora con mi actividad profesional. Debo agradecer especialmente a Ignacio y Rafa de Iberdrola por su importante apoyo cuando decidí lanzarme al vacío con esta investigación. La conexión con la realidad energética de nuestro país viene, en parte, de lo que aprendí en la Oficina Económica de Presidencia de Gobierno, y de mis compañeros Pedro, Antón, Gustavo y Eva. Finalmente, mis compañeros del World Business Council for Sustainable Development, Matt y Barbara me han apoyado en el último tramo de la investigación.

La Universidad Pontificia de Comillas y, en especial, el IIT me ha dado la flexibilidad y facilidades para concentrar mi esfuerzo en la investigación. Me gustaría dar las gracias a Yolanda que me dirigió concienzudamente en la consecución del DEA, a Antonio que me ayudó al principio con las cuestiones econométricas, a Pedro por su crítica muy constructiva y referencias bibliográficas, y a Isabel por todas sus buenas gestiones. Un elemento fundamental de esta tesis ha sido la recopilación de estadísticas energéticas, que ha sido posible gracias a Jean-Yves de la Agencia Internacional de la Energía y a Carlos y Jesús Pedro del IDAE.

En el camino recorrido he hecho muy buenos amigos que me han incitado a concluir este estudio, Gonzalo desde antes de empezar, Noemí, Miguel Ángel y Liliana, junto con mis amigas de toda la vida, Pepa, Anne, Mercedes, Cristina, Gabriela, Marta, Patricia, Sandra y muchas más.

Finalmente, y sin lugar a dudas, los principales partícipes de esta tesis doctoral han sido mi familia. Con un marcado interés por su conclusión, mi abuela, mis padres, mi hermana Eva y mis hermanos, con un destacable interés por disfrutar del viaje, Jorge y nuestros dos hijos.

Gracias Jorge por tu comprensión, aliento, apoyo y ayuda durante estos años.



## ÍNDICE

1. Contexto y objetivos de la tesis.....	23
1.1. Introducción .....	24
1.2. Objetivos y delimitación de la tesis.....	26
1.3. Estructura de la tesis .....	27
2. Estudios sobre la intensidad energética.....	31
2.1. Introducción .....	32
2.2. Teorías sobre la desmaterialización .....	33
2.3. Factores que afectan a la intensidad energética .....	40
2.4. Análisis empírico de la intensidad energética en los países de la OCDE.....	45
2.5. Estudios sobre la intensidad energética en España .....	51
2.6. Conclusiones.....	59
3. La intensidad energética en España.....	61
3.1. Introducción .....	62
3.2. Metodología de descomposición de índices.....	63
3.2.1. Áreas de aplicación.....	65
3.2.2. Formulación metodológica .....	66
3.2.3. Elección del método de desagregación.....	77
3.3. La evolución de la intensidad energética .....	81
3.3.1. Delimitación del análisis.....	81
3.3.2. Descripción de las fuentes estadísticas utilizadas.....	84
3.4. Comparación con Europa .....	89
3.4.1. Comparación de las intensidades energéticas sectoriales.....	90
3.4.2. Desagregación de la Intensidad Energética en la UE15 .....	93
3.4.3. Países clave en la evolución de la IE en la UE15.....	100

3.5. Análisis de la intensidad energética en España.....	102
3.5.1. Evolución de la intensidad energética sectorial.....	102
3.5.2. Desagregación de la intensidad energética en España .....	105
3.5.3. Análisis de la influencia del sector eléctrico .....	111
3.6. Conclusiones.....	117
4. Inclusión de los consumos indirectos de los sectores en el análisis de la intensidad energética.....	123
4.1. Introducción .....	124
4.2. Estimación de un nuevo balance energético final .....	126
4.2.1. Asignación del consumo energético del transporte .....	127
4.2.2. Reparto del consumo energético de la transformación energética .....	133
4.3. Análisis de la nueva intensidad energética .....	139
4.3.1. Ajustes en la producción económica.....	139
4.3.2. Comparación de la nueva intensidad energética con el indicador tradicional .....	140
4.3.3. Análisis de desagregación de la nueva intensidad energética .....	141
4.3.4. La construcción arrastra a los metales básicos y los minerales no metálicos .....	144
4.3.5. El sector terciario clave en la evolución futura de la intensidad energética .....	151
4.4. Conclusiones.....	158
5. La mitigación de las emisiones de CO <sub>2</sub> por sectores .....	163
5.1. Introducción .....	164
5.2. Análisis de los factores determinantes de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	167
5.2.1. Desagregación de las emisiones de CO <sub>2</sub> en España .....	170
5.2.2. Comparación con la UE15 .....	172
5.3. Utilización de la intensidad energética para evaluar la evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	176
5.4. Simulaciones a 2020 de diferentes escenarios .....	183

5.5. Conclusiones.....	188
6. La seguridad de suministro desde la perspectiva de la demanda energética .....	193
6.1. Introducción .....	194
6.2. El concepto de seguridad de suministro .....	195
6.3. Evolución de la demanda energética .....	197
6.3.1. Dependencia energética exterior de los sectores finales .....	199
6.3.2. Dependencia energética exterior del sector eléctrico .....	206
6.4. Riesgo en el suministro energético .....	211
6.5. Vulnerabilidad del suministro energético.....	214
6.6. Conclusiones y recomendaciones .....	218
7. La eficiencia energética en el sector residencial.....	221
7.1. Introducción .....	222
7.2. Factores determinantes del consumo energético de los hogares .....	224
7.2.1. Clima.....	227
7.2.2. Aumento de la renta per cápita y población.....	228
7.2.3. Edificación .....	229
7.2.4. Electrodomésticos.....	233
7.2.5. Aspectos socioculturales .....	235
7.3. Medidas para mejorar la eficiencia energética de los hogares.....	237
7.3.1. Mejora de climatización .....	237
7.3.2. Eficiencia energética de las edificaciones .....	239
7.3.3. Gestión de la demanda .....	242
7.3.4. Cambios de comportamiento.....	244
7.4. Barreras existentes para materializar el potencial de la eficiencia energética.....	245
7.5. Instrumentos para mejorar la eficiencia energética .....	248
7.5.1. Instrumentos económicos.....	248

7.5.2. Instrumentos de “mandato y control” .....	250
7.5.3. Instrumentos de información.....	251
7.5.4. Incentivos .....	253
7.6. Conclusiones.....	253
8. La eficiencia energética en el sector del transporte .....	257
8.1. Introducción .....	258
8.2. La problemática del transporte.....	261
8.2.1. La dependencia energética del transporte .....	261
8.2.2. El impacto ambiental del transporte.....	263
8.3. El transporte de mercancías.....	267
8.3.1. Demanda de transporte .....	268
8.3.2. La eficiencia del transporte de mercancías.....	270
8.4. Medidas para mejorar la eficiencia energética del transporte de mercancías.....	272
8.5. El transporte de viajeros .....	275
8.5.1. Demanda de movilidad .....	276
8.5.2. Eficiencia energética .....	283
8.6. Medidas para mejorar la eficiencia en el transporte de viajeros .....	285
8.7. Instrumentos para mejorar la eficiencia del transporte .....	293
8.7.1. Instrumentos regulatorios.....	293
8.7.2. Instrumentos económicos.....	295
8.7.3. Instrumentos informativos.....	300
8.7.4. Efectividad internalizadora de los instrumentos y propuestas.....	300
8.8. Conclusiones.....	309
9. Resumen y conclusiones .....	311
9.1. Resumen ejecutivo .....	312
9.1.1. Evolución de la intensidad energética en España .....	312

9.1.2. Cómo afecta la intensidad energética a la mitigación de las emisiones de CO <sub>2</sub> en España y a la seguridad de suministro .....	315
9.1.3. Los sectores residencial y transporte .....	319
9.2. Reflexiones sobre la insostenibilidad del crecimiento económico español.....	324
9.3. Principales limitaciones y aportaciones de la tesis .....	326
Referencias.....	333

# Gráficos

## CAPÍTULO 2

Gráfico 2.1. Representación gráfica de la curva medioambiental de Kuznets.

Gráfico 2.2. Consumo energético per cápita por sector para un país hipotético.

Gráfico 2.3. Intensidad energética en una economía hipotética.

Gráfico 2.4. Evolución de la intensidad energética y renta per cápita en la OCDE entre 1978 y 2006.

Gráfico 2.5. Diagrama de fases de la intensidad energética en España.

## CAPÍTULO 3

Gráfico 3.1. La intensidad energética en Europa.

Gráfico 3.2. Desacoplamiento del consumo energético.

Gráfico 3.3. Evolución de la intensidad energética ajustada a la paridad de poder de compra.

Gráfico 3.4. La intensidad energética en el mundo.

Gráfico 3.5. Desglose del PIB en la UE15 y España

Gráfico 3.6. Desagregación de la intensidad energética en la UE15.

Gráfico 3.7. Efecto intrasectorial por sectores en la UE15.

Gráfico 3.8. Efecto estructural por sectores en la UE15.

Gráfico 3.9. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética en la UE15.

Gráfico 3.10. Crecimiento del consumo energético de los hogares entre 1980 y 2006.

Gráfico 3.11. Desagregación de la intensidad energética en España.

Gráfico 3.12. Efecto estructural por sectores en España.

Gráfico 3.13. Efecto intrasectorial por sectores en España.

Gráfico 3.14. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética en España.

Gráfico 3.15. Ajuste de la intensidad energética considerando hidráulicidad media y eficiencia del 100% en la generación nuclear.

Gráfico 3.16. Eficiencia del sector eléctrico.

Gráfico 3.17. Comparación de las intensidades energéticas en la UE15 con ajuste de la energía nuclear.

#### **CAPÍTULO 4**

Gráfico 4.1. Desglose del balance energético del transporte en España en 2006.

Gráfico 4.2. Consumo energético directo e indirecto en 2006.

Gráfico 4.3. Comparación de los nuevos ratios de intensidad energética con los del capítulo 3.

Gráfico 4.4. Desagregación de la nueva intensidad energética.

Gráfico 4.5. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética.

Gráfico 4.6. Consumo energético y VAB de los metales básicos.

Gráfico 4.7. Desmaterialización en la construcción en la UE15.

Gráfico 4.8. Desmaterialización en el sector servicios.

Gráfico 4.9. Desmaterialización en el sector servicios (ajustada a condiciones climáticas).

Gráfico 4.10. Eficiencia energética en el comercio y la hostelería.

Gráfico 4.11. Relación entre el VAB de los servicios y su consumo de electricidad.

Gráfico 4.12. Desglose del consumo energético por usos en hotel medio.

#### **CAPÍTULO 5**

Gráfico 5.1. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para España.

Gráfico 5.2. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita para España.

Gráfico 5.3. Desagregación de la diferencia entre España y la UE15 en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita

Gráfico 5.4. Consumo final de energía en España.

Gráfico 5.5. Consumo de energía para la generación de electricidad.

Gráfico 5.6. Emisiones medias por combustible en la producción de electricidad.

## **CAPÍTULO 6**

Gráfico 6.1. Evolución del porcentaje de la energía suministrada con importaciones en España.

Gráfico 6.2. Ratios de dependencia energética por sector.

Gráfico 6.3. Desagregación de la dependencia energética de los sectores finales.

Gráfico 6.4. Desagregación de la dependencia energética por sectores.

Gráfico 6.5. Desagregación de la dependencia energética del sector eléctrico entre 1990 y 2006.

Gráfico 6.6. Generación hidráulica y dependencia del sector eléctrico.

Gráfico 6.7. Riesgo de las importaciones energéticas entre 1980 y 2006.

Gráfico 6.8. Comparación del riesgo de las importaciones y el riesgo total en 2006.

Gráfico 6.9. Evolución del grado de diversificación por combustibles.

Gráfico 6.10. Evolución del grado de diversificación por sectores.

## **CAPÍTULO 7**

Gráfico 7.1. Evolución de las emisiones de GEI en España.

Gráfico 7.2. Intensidad energética en el sector residencial.

Gráfico 7.3. Consumo energético en los hogares españoles

Gráfico 7.4. Consumo energético de los hogares ajustados al clima europeo medio.

Gráfico 7.5. Consumo de electricidad en un hogar típico español.

## **CAPÍTULO 8**

Gráfico 8.1. Evolución del transporte en España.

Gráfico 8.2: Evolución consumo energético por modo de transporte 1990-2006.

Gráfico 8.3. Evolución de las emisiones atmosféricas del transporte en España (ton) y su porcentaje sobre el total de emisiones en 2005.

Gráfico 8.4. Demanda del transporte de mercancías en España

Gráfico 8.5. Evolución de la intensidad del transporte de mercancías.

Gráfico 8.6. Evolución de las matriculaciones de vehículos y la renta per cápita en España

Gráfico 8.7. Motivos de viaje por Comunidades Autónomas y densidad de población.

Gráfico 8.8. Comparación de los kilómetros recorridos y la renta por habitante en la UE15

Gráfico 8.9. Parque de vehículos en España y distancia recorrida.

Gráfico 8.10. Comparación de impuesto de matriculación actual con la propuesta de modificación.

## **Tablas**

### **CAPÍTULO 2**

Tabla 2.1. Estadísticos descriptivos de la muestra analizada.

Tabla 2.2. Resultados del análisis de la intensidad energética en la OCDE.

Tabla 2.3. Potencial de reducción del consumo energético de los sectores industriales

Tabla 2.4. Resultado de la simulación de cambio de precios.

### **CAPÍTULO 3**

Tabla 3.1: Ejemplo de desagregación en dos factores

Tabla 3.2: Ejemplo de desagregación en tres factores.

Tabla 3.3. Balances energéticos y contabilidad nacional.

Tabla 3.4. Intensidades energéticas por sectores en la UE15 y España.

Tabla 3.5. Desagregación de la intensidad energética en España y en la UE15 entre 1995 y 2006.

Tabla 3.6. Desagregación de la diferencia de INTENSIDAD ENERGÉTICA entre España y la UE15 en 2006.

Tabla 3.7. Desagregación de la intensidad energética de la UE15 entre 1995 y 2006.

Tabla 3.8. Evolución de la intensidad energética en España entre 1980 y 2006.

Tabla 3.9. Desagregación de la intensidad energética en España entre 1980 y 2006.

Tabla 3.10. Desagregación de la intensidad energética en España entre 2005 y 2006.

Tabla 3.11. Factores de eficiencia en la generación de electricidad.

Tabla 3.12. Desagregación de la intensidad energética con ajuste de la generación nuclear entre 1980 y 2006.

#### **CAPÍTULO 4**

Tabla 4.1. Balance energético reducido para España en 2006.

Tabla 4.2. Comparación de los balances energéticos y de la EPTMC.

Tabla 4.3. Nuevo balance energético del consumo final en España en 2006.

Tabla 4.4. Tabla de origen y destino de la energía en España en 2006.

Tabla 4.5. Matriz de coeficientes energéticos.

Tabla 4.6. Matriz de transformación o matriz inversa.

Tabla 4.7. Desagregación de la nueva intensidad energética entre 1995 y 2006.

Tabla 4.8. Producción de acero en España en 2006.

Tabla 4.9. Intensidad energética en los minerales no metálicos.

Tabla 4.10. Comparativa del desglose del VAB del sector terciario.

Tabla 4.11. Estimación de la intensidad energética en el sector servicios.

Tabla 4.12. Demanda turística en España.

#### **CAPÍTULO 5**

Tabla 5.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> y compromisos asumidos en el protocolo de Kioto.

Tabla 5.2. Indicadores de Kaya para España.

Tabla 5.3. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE15 entre 1990 y 2007.

Tabla 5.4. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para España entre 1990 y 2006.

Tabla 5.5. Desagregación del crecimiento de las emisiones entre 1995 y 2006.

Tabla 5.6. Estimación de las emisiones directas e indirectas en España.

Tabla 5.7. Resumen de resultados de las simulaciones a 2020.

## **CAPÍTULO 6**

Tabla 6.1. Consumo por fuente energética.

Tabla 6.2. Consumo energético por sectores.

Tabla 6.3. Ratios de importación por combustibles.

Tabla 6.4. Evolución de la dependencia energética entre 1990 y 2006.

Tabla 6.5. Desagregación de la dependencia energética por combustibles.

Tabla 6.6. Eficiencia y dependencia energética del sector eléctrico.

Tabla 6.7. Desagregación de la dependencia energética del sector eléctrico.

Tabla 6.8. Riesgo de las importaciones de combustibles en los sectores.

Tabla 6.9. Resumen de las principales variables que afectan a la seguridad de suministro de los sectores.

## **CAPÍTULO 7**

Tabla 7.1. Desglose del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los hogares en España y en la UE15.

Tabla 7.2. Comparación de precios de gas y electricidad en la UE15.

Tabla 7.3. Evolución del parque de viviendas en España

Tabla 7.4. Sistemas de calefacción en edificios con sistemas convencionales

Tabla 7.5. Viviendas principales en España según tipo de calefacción por combustible utilizado.

Tabla 7.6. Viviendas principales con sistemas colectivos de calefacción y sin calefacción.

Tabla 7.7. Equipamiento de los hogares españoles.

Tabla 7.8. Opciones medioambientales en los hogares.

Tabla 7.9. Ventajas y desventajas de los instrumentos de eficiencia energética.

## **CAPÍTULO 8**

Tabla 8.1. Tipos impositivos sobre hidrocarburos en la UE15 (€ por 1000 litros).

Tabla 8.2. Evolución de los límites de emisión impuestos por las normas Euro (g/Km.)

Tabla 8.3. Estimación del coste de las externalidades del transporte

Tabla 8.4. Eficiencia energética de los distintos modos de transporte

Tabla 8.5. Modo utilizado para la movilidad cotidiana semanal (miles)

Tabla 8.6. Motivo de la movilidad cotidiana semanal (miles)

Tabla 8.7. Distancia de los viajes y modos de transporte utilizados.

Tabla 8.8. Comparación de costes entre vehículo diésel y gasolina

Tabla 8.9. Eficiencia energética de los distintos modos de transporte de viajeros.

Tabla 8.10. Venta de vehículos por nivel de emisiones en España

Tabla 8.11: Posición sobre medidas drásticas de ahorro energético en la conducción

Tabla 8.12. Tipos impositivos de los hidrocarburos.

Tabla 8.13. Estimación de efectos de medidas de gestión de la demanda en el transporte

Tabla 8.14. Estimación de posibles ahorros energéticos derivados de medidas restrictivas de gestión de la demanda

Tabla 8.15. Estimación de las elasticidades a largo plazo del transporte a largo plazo

## **Cuadros**

### **CAPÍTULO 3**

Cuadro 3.1. Clasificación de los métodos de descomposición de índices.

Cuadro 3.2. Ilustración de los términos de la descomposición.

Cuadro 3.3. Formulación de la metodología LMDI I.

Cuadro 3.3. Energía primaria, final y útil.

#### **CAPÍTULO 4**

Cuadro 4.1. Metodología de cálculo de la intensidad energética primaria de los sectores

Cuadro 4.2. Reparto del consumo del transporte.

Cuadro 4.3. Transformación energética.

Cuadro 4.4 Clasificación de sectores en función de su impacto directo e indirecto.

#### **CAPÍTULO 6**

Cuadro 6.1. Análisis de indicadores de seguridad de suministro

#### **CAPÍTULO 7**

Cuadro 7.1. Comparación entre sistema convencional y cogeneración.

#### **CAPÍTULO 8**

Cuadro 8.1. Estrategias para desacoplar el transporte de mercancías del crecimiento económico

Cuadro 8.2. Consumo energético medio de un vehículo de gasolina

Cuadro 8.3. Estrategias para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros



# ***1. Contexto y objetivos de la tesis***

1.1. Introducción .....	24
1.2. Objetivos y delimitación de la tesis.....	26
1.3. Estructura de la tesis.....	27

## 1.1. Introducción

La intensidad energética (IE) se considera un indicador de la sostenibilidad del crecimiento económico. Naciones Unidas lo considera como uno de los indicadores que miden el grado de desarrollo humano y de progreso de los países, tal y como se recoge en su Informe Anual de Desarrollo Humano (Human Development Report, Naciones Unidas, 2005: 208 y 289). Además, este indicador ha sido seleccionado por la Unión Europea (UE) como uno de los catorce indicadores estructurales para medir los progresos obtenidos en el marco de la Estrategia de Lisboa (Comisión Europea, 2004).

Muchos Gobiernos utilizan este indicador para presentar objetivos medioambientales, como es el caso de China o Estados Unidos. Durante los últimos cinco años el Gobierno español ha prestado particular atención a la evolución de la intensidad energética (IE), y lo ha utilizado como muestra del acierto o desacierto de las políticas energéticas realizadas en España. Por lo tanto la IE es un indicador con un alto interés político.

El indicador refleja la relación entre consumo energético y el volumen de la actividad económica y se calcula como el cociente entre el consumo energético y el producto interior bruto (PIB). En función de cómo se contabilice el consumo energético se puede obtener distintos ratios de IE. En este trabajo se analiza la IE total frente a otros estudios que analizan la IE final. La diferencia es que en la IE total se incluye todos los consumos energéticos de la economía. Esto significa que se incluye el consumo energético de los sectores transformadores (como es el sector eléctrico), de los sectores industriales, del transporte, de los sectores de servicios y del sector residencial. La IE final no incluye los sectores transformadores, omitiendo el análisis el 30% del consumo energético español.<sup>1</sup>

En los países desarrollados la IE ha mostrado cierto desacoplamiento relativo entre el consumo energético y el PIB desde mediados de los años 70 hasta la fecha. En España la IE se redujo ligeramente en los años 80, experimentó un período de fuerte crecimiento entre 1990 y 2004 y se está moderando en los últimos años. Esta evolución divergente respecto a la de los países del entorno ha llamado la atención de investigadores en la materia, que se preguntan ¿por qué la IE crece en España mientras que se reduce en la Unión Europea? ¿Qué influencia tienen los factores estructurales en dicha evolución? ¿Son factibles los objetivos de reducción de emisiones planteados para España? ¿Cómo afecta la IE a la seguridad de suministro? ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar para cambiar esas tendencias?

En esta tesis doctoral se intentará avanzar en dar respuesta a estas importantes preguntas.

---

<sup>1</sup> En el capítulo 3 se explica con detalle las categorías incluidas en el indicador, las deficiencias de las estadísticas y las ventajas de utilizar el ratio de IE total.

La reducción de la IE está estrechamente relacionada con la consecución de tres objetivos: minimizar el impacto ambiental, garantizar la seguridad de suministro y aumentar la competitividad de la economía.

El Gobierno español ha asumido ambiciosos objetivos para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta ambición política (o falta de habilidad negociadora o de previsión de la evolución económica y social del país) no es acorde con los malos resultados conseguidos (las emisiones en 2007 superan en un 52% a las de 1990, frente al objetivo establecido del 15%). La falta de previsión mostrada por el Gobierno español en las negociaciones del protocolo de Kioto ha convertido este objetivo en uno de los más exigentes entre los países firmantes. Por ello es importante que, de cara a los objetivos a 2020, el Gobierno sea consciente de lo que significa este compromiso para el sector energético, puesto que el país debe hacer un esfuerzo sin precedentes para contribuir a la reducción del 20% de las emisiones de la Unión Europea.

La gravedad y progresión de los fenómenos de cambio climático, con un creciente consenso científico sobre los daños asociados, ha generado un enorme interés académico y social en la definición y análisis de políticas para su control. La monitorización del consumo energético asociado a la creación de valor de la economía, permite también analizar las implicaciones en las emisiones de GEI, puesto que el 80% de éstas, proviene de la combustión energética.

Por otro lado, en España, el 80% de la energía primaria utilizada es importada<sup>2</sup>, cantidad que aumenta hasta el 99% en el caso del petróleo crudo y el gas. La seguridad de suministro adquiere mayor protagonismo por el temor sobre las consecuencias que una interrupción de suministro o una abrupta escalada de precios de la energía podrían tener sobre la economía. Por lo tanto existe una preocupación creciente en el Gobierno, dada la escasez de los combustibles y el fuerte incremento de la demanda energética de los países emergentes, sobre cómo suministrar una demanda energética creciente sin un aumento de la dependencia de energía importada.

Muchas de las medidas para reducir las emisiones tienen también impactos positivos en la seguridad de suministro (eficiencia energética y energías renovables). Otras medidas que se han adoptado no son necesariamente buenas para la reducción de emisiones de GEI (promoción del carbón nacional) o para la seguridad de suministro (mayor dependencia del gas natural importado). Por eso es importante alinear las agendas de seguridad de suministro y de cambio climático. Unas políticas “inteligentes” en el área de la eficiencia energética podrían resultar en una mayor independencia energética, una menor exposición a la volatilidad de los precios del gas y del petróleo, y unas menores emisiones de GEI, por lo tanto en una opción ganadora

---

<sup>2</sup> Esta cifra corresponde a las importaciones netas, esto es, teniendo en cuenta la energía exportada y almacenada.

para la lucha contra el cambio climático, la seguridad energética y la competitividad del país.

## **1.2. Objetivos y delimitación de la tesis**

Esta tesis doctoral tiene como objetivo principal avanzar en la comprensión de la evolución de la IE en España. Este avance es importante puesto que su análisis hasta la fecha ha estado restringido a los sectores industriales en general, lo cual significa que tan sólo se analiza un 20- 30% del consumo energético. Además, es necesario analizar las diferencias entre las distintas formas de contabilizar la IE, profundizar en las fuentes estadísticas disponibles, detectar las limitaciones estadísticas y profundizar en los sectores residencial y transporte, que han sido frecuentemente omitidos de este tipo de análisis. Dada la importancia que la eficiencia energética está adquiriendo en la agenda de Gobiernos y empresas, este análisis puede ayudar a definir cómo se mide ese progreso y dónde se sitúan los sectores clave.

Para ello se utilizan las metodologías más adecuadas para la evaluación de las tendencias de la IE en los países de la OCDE, la identificación de las principales diferencias con la evolución de la UE15 y la determinación de los sectores que más han influido en su evolución, tanto de forma directa como indirecta.

El segundo objetivo consiste en plantear varias metodologías para la utilización del indicador de IE en el análisis de la evolución de la seguridad de suministro y de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores.

El tercer objetivo persigue avanzar en el conocimiento de la eficiencia energética de los hogares españoles y del transporte. Para ello se realizará un diagnóstico de la situación, se identificarán las principales barreras para la mejora de la eficiencia energética y se plantearán una serie de medidas destinadas al ahorro energético y a avanzar en la gestión de su demanda energética.

La investigación de esta tesis doctoral se centra en la comprensión del indicador de la IE, de su evolución, de los sectores clave en su comportamiento y de su conexión con la seguridad de suministro y con los objetivos de reducción de emisiones. Analizar estas cuestiones requiere un esfuerzo importante en la recopilación de estadísticas que permitan obtener una imagen completa de la IE.

Para comprender correctamente el indicador es importante, en primer lugar, analizar su evolución durante un período lo suficientemente largo para evitar que factores coyunturales (climatología o coyuntura económica) distorsionen el análisis. Esta investigación se centra en el período 1980-2006 para España, concentrándose el análisis en el período 1995-2006 por ser el período en que la IE más ha crecido y para

el que se disponen de estadísticas más adecuadas. Se analiza el caso español, pero se utiliza el caso europeo (UE15) como referencia comparativa.

En segundo lugar se debe llegar al nivel máximo de desagregación posible en el citado análisis. En la mayor parte de los trabajos realizados hasta el momento se utilizan los datos oficiales publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA, en sus siglas en inglés) para los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> y las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE) y Eurostat para la Contabilidad Nacional. Asimismo, se utilizan otras estadísticas oficiales publicadas por los Ministerios competentes.

### **1.3. Estructura de la tesis**

La tesis doctoral se estructura en tres grandes áreas, dedicadas al análisis del indicador de la IE (capítulos 2, 3 y 4), en los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (capítulo 5) y en la comprensión de la influencia de la IE en la seguridad de suministro (capítulo 6), y a la profundización en dos sectores clave en la evolución de la IE, los hogares (capítulo 7) y el transporte (capítulo 8).

En el capítulo 2 se realiza un escueto análisis del contexto de las teorías de desmaterialización en el que se desarrolla este trabajo doctoral. El capítulo comienza con una descripción bibliográfica breve de las teorías sobre la desmaterialización y de los factores que afectan a la desvinculación del consumo energético y el crecimiento económico. En el contexto de estas teorías se realiza un ejercicio empírico con datos de panel de los países de la OCDE para comprobar cómo han influido en su evolución determinados factores. Por último, se describen aquellos estudios que, de manera directa o indirecta, abordan la problemática de la IE en España.

El capítulo 3 se centra en el análisis de la IE en España. Para ello se explican las diferentes metodologías de descomposición de índices que se utilizarán en varios capítulos de la tesis. En este capítulo se utiliza la desagregación de índices para analizar por qué España tiene un comportamiento diferencial con respecto a la UE15, comparando las IE sectoriales, analizando su diferencial con la UE15 en 2006 e identificando los sectores y países claves que marcan la evolución de la IE en Europa. Después se analiza con mayor detalle la evolución de la IE en España en un período temporal más amplio y se ponen de manifiesto las limitaciones del indicador.

El análisis del capítulo 3 realiza un análisis de toda la IE, mientras que otros investigadores se han centrado en sus trabajos en determinados sectores. En el capítulo 4 se aporta un enfoque diferente al habitual, puesto que se asignan a cada sector los consumos energéticos incurridos por cada sector en la generación de electricidad y en el transporte. El capítulo presenta una metodología para la

estimación de un nuevo balance energético que incluya los consumos directos e indirectos y analiza la nueva IE calculada. Este análisis permite identificar cinco sectores clave en la evolución de IE en España: metales básicos, minerales no metálicos, servicios, residencial y transporte. El resto del capítulo se dedica a analizar la evolución de las ramas de actividad vinculadas a la construcción (metales básicos y minerales no metálicos) y al sector servicios, por su influencia presente y futura en el indicador y en la divergencia con Europa.

El control de las emisiones de GEI es un objetivo prioritario para España. En el capítulo 5 se examina, en primer lugar, la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE15 y España y sus factores determinantes (basados en los indicadores de Kaya). En segundo lugar, se muestra la utilidad del indicador de IE para el análisis y la comparación entre países de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como para la realización de simulaciones a 2020 de diferentes escenarios de reducción de la IE o de descarbonización del abastecimiento energético.

En el capítulo 6 se analiza cuál es la influencia de la IE en la problemática de la seguridad de suministro. Partiendo de la premisa de que un aumento de la IE generalmente produce un aumento del consumo energético y de las importaciones, el análisis se centra en la evolución de los factores que afectan a la dependencia energética de los sectores (importaciones, combustibles y actividad). Este capítulo se completa con un análisis del riesgo y la vulnerabilidad del suministro energético en España.

Finalmente, los dos últimos capítulos de la tesis se dedican a los dos principales sectores difusos<sup>3</sup> (hogares y transporte) que han tenido y tendrán una influencia fundamental en la evolución de la IE en España, y en consecuencia en la seguridad de suministro y en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El capítulo 7 presenta un diagnóstico detallado de los principales elementos que influyen en el consumo energético de las familias y propone algunas medidas que pueden mejorar la eficiencia energética del sector residencial. La evidencia empírica demuestra que esas medidas no se llevan a cabo porque existen diversas barreras para la materialización del potencial de eficiencia en los hogares, que se describen en este capítulo. Por último se mencionan los principales instrumentos para mejorar la eficiencia energética de los hogares.

---

<sup>3</sup> Los sectores difusos son aquéllos que debido a la enorme atomización de las fuentes de emisión en general, hacen difícil su monitorización individual y que por ello no están incluidos en la Directiva de comercio de emisiones, ya que sus características dificultan su cuantificación individual. Los principales sectores difusos son el transporte, el sector servicios y el sector residencial, pero también se incluyen los residuos, la agricultura, y algunos procesos industriales.

En el capítulo 8 se analiza con detalle, tras una descripción de los principales problemas del transporte, la modalidad del transporte de mercancías y de viajeros y las recomendaciones para aumentar la eficiencia de cada uno de ellos. Además, se presentan los principales instrumentos utilizados por los Gobiernos para modificar las pautas de transporte y se analiza la efectividad internalizadora de algunas medidas, analizando, en algunos casos, su efecto en España.

Por último, el capítulo 9 describe de forma breve todos los desarrollos anteriores, a modo de resumen ejecutivo, presenta unas reflexiones sobre las conclusiones del trabajo realizado, menciona cuáles han sido las aportaciones de esta tesis, así como sus limitaciones y algunas posibles vías futuras de investigación.



## ***2. Estudios sobre la intensidad energética***

2.1. Introducción.....	32
2.2. Teorías sobre la desmaterialización .....	33
2.3. Factores que afectan a la intensidad energética .....	40
2.4. Análisis empírico de la intensidad energética en los países de la OCDE .....	45
2.5. Estudios sobre la intensidad energética en España.....	51
2.6. Conclusiones .....	59

## 2.1. Introducción

En los últimos años, los estudios sobre la IE desde distintas perspectivas han proliferado por sus implicaciones directas en la seguridad de suministro de los países, en las emisiones de gases de efecto invernadero o en la competitividad de los países. Delimitar los límites de una revisión bibliográfica de los estudios sobre la IE es una labor complicada.

El marco teórico en el que se engloba esta tesis doctoral es el de las teorías de desmaterialización de las economías. Un descenso de la IE a lo largo del tiempo se suele asociar con las teorías sobre la desmaterialización de la economía. El debate sobre sí se está produciendo una desmaterialización de la economía ha sido intenso, pero el objetivo de este trabajo no es responder a esa pregunta, sino explicar por qué el caso español es diferente al de otros países europeos y cuales son los factores que han influido en su evolución. Por ello la revisión bibliográfica gira en torno a estas cuestiones.

En esta tesis doctoral se aborda el análisis de la IE desde una perspectiva de arriba abajo (*top down*), utilizando las estadísticas energéticas y la contabilidad nacional. En el enfoque utilizado y en las metodologías desarrolladas prima el pragmatismo y la búsqueda de información estadística que complete las lagunas estadísticas existentes. Los indicadores de eficiencia energética se han desarrollado y utilizado para la evaluación, monitorización y explicación de las comparaciones entre países sobre la productividad energética. Los indicadores energéticos son difíciles de conceptualizar y no existe una única definición. En la literatura especializada, la eficiencia energética se mide con indicadores basados en unidades físicas (por ejemplo, energía por unidad de producción de acero) y en unidades monetarias (por ejemplo, energía por millón de euros producidos). Estos indicadores tienden a utilizarse para distintos objetivos: diseño industrial, productividad económica, análisis de la sostenibilidad, seguridad energética, etc. El indicador más utilizado es la IE (energía consumida por unidad de producto interior bruto), que se suele considerar como una buena medida de la eficiencia energética de las economías.

En este capítulo se analiza breve y superficialmente el contexto en el que se desarrolla este trabajo doctoral, sin ánimo de sustituir las aportaciones ya existentes en la literatura sobre estos asuntos. Además de situar al lector sobre las cuestiones genéricas sobre las que pivotará la tesis doctoral, el capítulo permite identificar algunos puntos que, bajo nuestro punto de vista, requerían el esfuerzo investigador que se ha puesto en los distintos capítulos de la tesis doctoral.

El capítulo se estructura de la siguiente forma. Se comienza con una breve descripción bibliográfica de las teorías sobre la desmaterialización y de los factores que afectan a la

desmaterialización (o IE). Se realiza un ejercicio empírico para comprobar la validez de estos factores en la muestra seleccionada y con los datos disponibles. Por último, se analizan aquellos estudios que de manera directa o indirecta aportan enfoques alternativos para la comprensión de la evolución de la IE en España.

## 2.2. Teorías sobre la desmaterialización

La definición del concepto de desmaterialización comúnmente aceptado es “la reducción absoluta o relativa de la cantidad de material utilizado o de la cantidad de residuos generados para la producción de una unidad de producto económico” (Cleveland y Ruth, 1999). En el caso energético, este desacoplamiento se refleja como una reducción de la IE. Entre 1980 y 2006 ningún país redujo su consumo energético absoluto aunque pudo suceder de manera puntual en algunos años. Por ello en esta tesis doctoral la mención de desmaterialización o desacoplamiento se refiere a su vertiente relativa, esto es, cuando el consumo energético crece a un ritmo inferior al PIB.

La literatura reciente sobre la desmaterialización se remonta a Meadows et al., quienes desde una perspectiva neomalthusiana publica *Los límites al crecimiento* (1972), y retoma el debate sobre la sostenibilidad del modelo de crecimiento. Este autor 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. A raíz de este libro y del vivo debate que generó, han surgido importantes programas de investigación sobre “ecología industrial”, “metabolismo industrial” y “desmaterialización” que rebaten estas opiniones, defendiendo que los cambios tecnológicos progresivos y las prácticas empresariales hacen posible que se produzcan bienes con una menor cantidad de material y energía. Estas teorías pretenden aportar una solución para cumplir con la definición del desarrollo sostenible más comúnmente utilizada: “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Brundtland, 1987).

En este sentido, en 1978, Wilfred Malembaum sugirió que en la mayoría de las regiones económicas del planeta la intensidad de uso de los principales recursos minerales (medida a través de la demanda de materiales por unidad de PIB) había disminuido considerablemente entre 1951 y 1975, presagiando una continuación de la misma tendencia para 1985 y el año 2000. Los factores que determinaron esa evolución fueron los cambios en el consumo final de bienes y servicios hacia productos menos intensivos en materiales, el progreso tecnológico que aumenta la eficiencia en

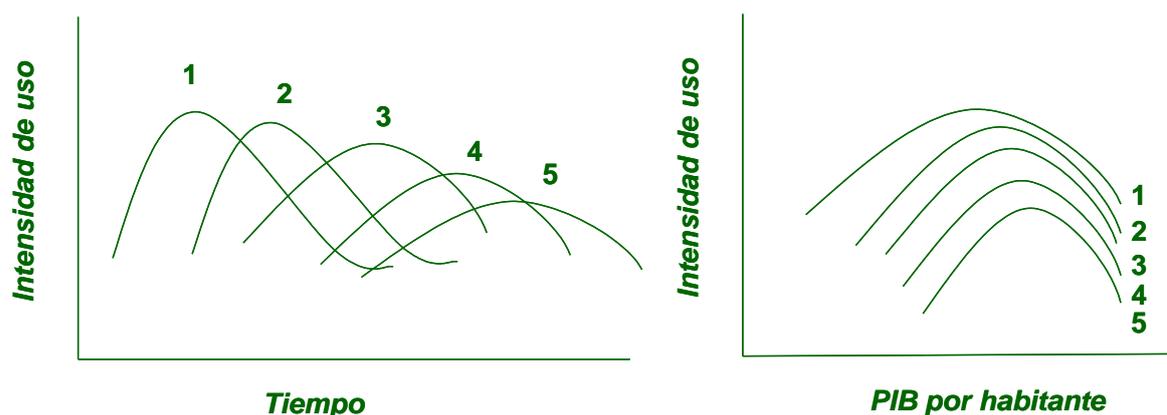
el uso de los recursos y, la sustitución de materias primas tradicionales por otras nuevas más eficientes.

Otros autores han defendido que han sido los cambios en la disponibilidad de productos energéticos más flexibles, como la electricidad, los que han permitido conseguir un progreso tecnológico que ha inducido una disminución continua de la IE, a la vez que se lograba aumentar la productividad económica (Schurr, 1984).

Las tesis de la desmaterialización cobraron cierta validez cuando, tras las dos crisis del petróleo, muchos países redujeron la utilización de energía por unidad de producto interior bruto (PIB). A partir de 1970 la IE empezó a reducirse en Francia, Alemania, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos, lo que parecía presagiar el “desacoplamiento” entre el crecimiento económico y el consumo de energía y recursos naturales.

Durante las décadas de los ochenta y noventa se defendió que se podía conseguir crecer utilizando cada vez menos recursos naturales. Esto se debe a que el cambio estructural provocado por la terciarización y tecnologización demandaba menos energía y materiales que la industria o la agricultura. Por ello, algunos autores (entre otros: Jänicke et al., 1989; Panayotou, 1993; Bernardini y Ruth, 1993; Galli, 1998; Judson et al., 1999; Medlock y Soligo, 2001) afirmaron que los países en las fases iniciales del desarrollo económico dependen directamente del consumo de recursos naturales, pero que existe un nivel de renta per cápita (punto de inflexión) a partir del cual un mayor crecimiento económico implica una reducción del consumo de recursos y de la contaminación (gráfico 2.1).

**Gráfico 2.1. Representación gráfica de la curva medioambiental de Kuznets.**



*Fuente: Bernardini et al., 1993.*

Este fenómeno se explica porque en las fases iniciales del desarrollo económico, la participación del sector industrial crece mientras que la de la agricultura decrece, lo que ocasiona un consumo energético superior, pero a medida que la economía se terciariza y la participación del sector servicios en el PIB se incrementa (en la

actualidad ronda el 60-70% en los países más avanzados), el menor consumo energético por valor añadido bruto (VAB) de este sector hace que se produzca globalmente una disminución de la demanda energética por PIB.

La conjunción del crecimiento económico y de la reducción de contaminantes llevó a sugerir que la mayoría de las economías de la OCDE presentaban una relación entre crecimiento económico y deterioro ambiental en forma de “U-invertida”. Asimismo, se encontró similitud con los trabajos de Kuznets (1955) entre el crecimiento económico y el aumento de la desigualdad, por lo que se decidió bautizar el descubrimiento como la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), tal y como se recoge en uno de los primeros estudios realizado por Bernardini et al., (1993). Este estudio reconocía la existencia de la CKA en las naciones individualmente pero, además, defendía que las diferencias entre naciones se explicaban por las diferencias entre las etapas de su desarrollo económico. En definitiva, y como se puede ver en el gráfico 2.1, las naciones alcanzan esa fase de crecimiento en distintos momentos temporales y lo hacen a un nivel de PIB per cápita casi idéntico entre ellas.

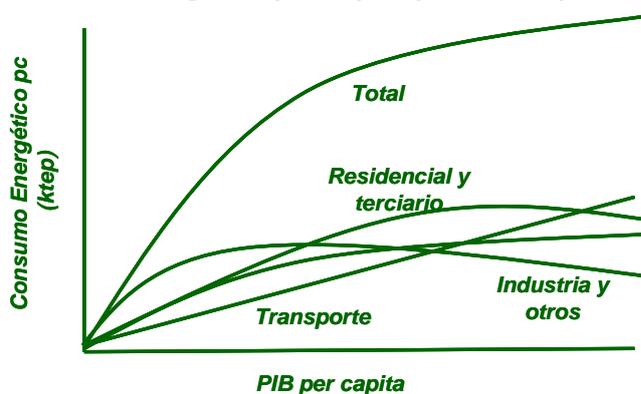
El debate sobre las hipótesis de la CKA en los últimos años ha sido intenso, como lo demuestra el que diversas revistas académicas han dedicado números especiales al tema (*Ecological Economics* nº 25, 1998; *Environment and Development Economics* nº 2, 1997; *Economía Industrial* nº 351, 2003). Además, 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 analizar la evolución y futuro de la IE en EEUU (Dowlatabadi y Oravetz, 2005), para entender la influencia de la mezcla de tecnologías energéticas en la IE (Kaufman, 2004), para comparar los sectores claves en Europa a través de modelos input-output (Alcántara y Duro, 2004), para calcular las curvas que relacionan la IE con la renta per cápita (Galli, 1998) y por sectores (Medlock y Soligo, 2001) y para analizar cómo afecta el cambio estructural en la IE (Schäfer, 2005; Ansuategi y Arto, (2003) por mencionar algunos de ellos.

Como el consumo energético es una buena medida del impacto medioambiental, puesto que genera emisiones locales (emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, partículas) y globales (CO<sub>2</sub>, residuos), algunos investigadores han aplicado las teorías de la CKA al análisis de la IE. Entre ellos se encuentra Galli (1998) que lo hace apoyándose en el concepto de la elasticidad de la energía respecto a la renta per cápita, demostrando que la demanda energética disminuye en 10 países asiáticos durante el período 1973-1990, a medida que la renta se incrementa. Asimismo, Judson et al., (1999) adopta otro enfoque para explicar el mismo concepto, mediante la desagregación del consumo energético por sectores, y analiza el comportamiento de la demanda de 123 naciones que se encuentran en todas las fases de desarrollo. Las conclusiones de su estudio indican que cuando la renta se incrementa, el porcentaje de consumo energético doméstico

sobre el total decrece, el consumo de energía en el sector transporte se incrementa y el sector industrial se desmaterializa.

Por último, Medlock y Soligo (2001) amplían estos dos últimos estudios analizando la IE por sectores en 28 países desarrollados y en vías de desarrollo para el período 1978-1995. Sus resultados muestran una tendencia global de la IE en un país hipotético en los tres sectores principales: industrial, residencial y comercial y transporte. Su modelo estima, para ese país hipotético, los coeficientes a largo plazo que permiten trazar la línea de demanda energética per cápita por sector y demostrar el efecto de los distintos grados de desarrollo en el consumo final total (gráfico 2.2)

**Gráfico 2.2. Consumo energético per cápita por sector para un país hipotético.**



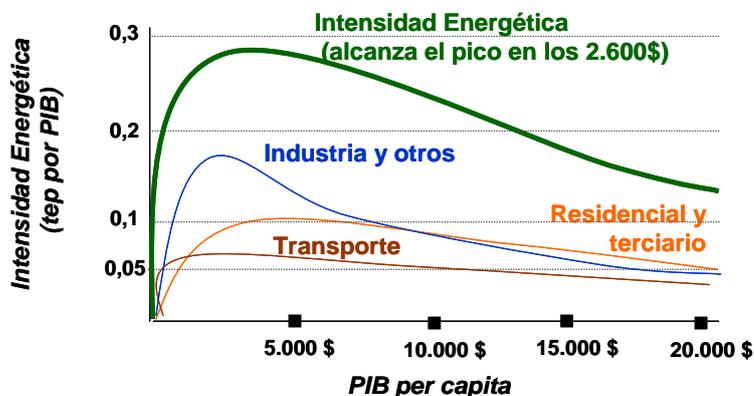
Fuente: Medlock y Soligo, 2001:93

En este país hipotético la IE industrial alcanza un punto de inflexión en fases tempranas del desarrollo económico, a medida que el sector terciario va adquiriendo un mayor peso en la economía (gráfico 2.3). Los sectores terciario y residencial, con una IE bastante menor, también encontrarán su momento de inflexión en el tiempo cuando lleguen a un nivel de saturación. Finalmente, es el transporte el que capturará la mayor parte del consumo energético final, lo que incrementa la dependencia sobre el petróleo, sin llegar a vislumbrarse un nivel de saturación.

Según Medlock y Soligo, el descenso de la IE es debido al incremento de la renta per cápita, que implica un incremento de la proporción del consumo residencial energético respecto al total. Así, los bienes “duraderos” (aire acondicionado, congelador o automóviles) representan una parte cada vez más importante del presupuesto familiar y generan más demanda energética en los hogares, los comercios y el transporte. A medida que los hogares llegan a un nivel de saturación de bienes duraderos, el consumo energético residencial empezará a crecer por debajo del crecimiento de la renta per cápita. Además, los usos energéticos están limitados espacialmente y temporalmente (uso del aire acondicionado o del transporte) y a medida que un país se desarrolla necesita menos materiales para la construcción de infraestructuras. La conclusión de su estudio es que los países al llegar a un cierto nivel de desarrollo

alcanzan un nivel de saturación del consumo energético y se produce una estabilización o reducción del indicador de IE.

**Gráfico 2.3. Intensidad energética en una economía hipotética.**



*Fuente: Medlock y Soligo, 2001:95.*

Otros investigadores como Stokey (1998) explican la CKA en función de los cambios en la utilidad marginal del consumo en distintos niveles de renta per cápita. Su teoría es que a partir de ciertos niveles la ley de reducción de la utilidad marginal apunta a que el coste de la contaminación será superior al beneficio de un continuo incremento del consumo, lo cual resultará en una reducción del nivel de contaminación. Entre los factores que subyacen en la desmaterialización de las economías están la mayor conciencia medioambiental y la educación, que revierten en más calidad medioambiental, y el aumento de las regulaciones medioambientales. Por ello los defensores de la CKA dicen que llegado cierto nivel de desarrollo los países en vías de desarrollo también tendrán estas mismas preferencias, lo cual hará que alcancen una reducción de la contaminación por unidad de producto.

Estos argumentos deben ser tomados con mucha “precaución y escepticismo” (Nahman y Antrobus, 2005) y han sido cuestionados por otros investigadores puesto que una mayor renta no implica necesariamente una mayor demanda de calidad ambiental. Esto sucede porque algunos individuos se benefician de las actividades económicas que contaminan y otros, consumidores de bienes y servicios, se benefician de menores precios. Ambos grupos perciben un subsidio de contaminación a costa de aquellos individuos afectados negativamente por ella y se produce un conflicto entre los que piden más control medioambiental y los que intentan reducirlo. La resolución del conflicto se encuentra en el grupo que tiene “más poder”. Por ello es razonable pensar que se benefician más del subsidio aquellos individuos de renta alta, que poseen más bienes y consumen más. Este grupo no hace esfuerzos por mejorar la situación medioambiental y sus integrantes “reducen la tensión entre su gusto por la calidad medioambiental y los bienes consumidos y beneficios adquiriendo casas

lujosas, perteneciendo a clubes privados y trasladándose de vacaciones a lugares sin contaminación” (Torras y Boyce, 1998: 150). Con estos argumentos, Torras y Boyce demuestran que el poder está correlacionado con la renta, y que variaciones en la distribución de la renta afectan a la distribución de poder por lo que una mayor desigualdad puede asociarse a niveles más altos de polución. Las consecuencias para la política energética de esta teoría son que, en primer lugar, en los países en vías de desarrollo una distribución igualitaria del poder vía una distribución de la renta más justa, una mayor alfabetización y respeto a los derechos humanos afectan positivamente a la calidad medioambiental. Y, en segundo lugar, que las mejoras medioambientales no aparecerán hasta que los países menos desarrollados alcancen la renta de los países industrializados.

Otros estudios examinan la influencia del comercio internacional en la CKA. Suri y Chapman (1998) llaman la atención sobre el impacto que las importaciones y exportaciones de bienes manufacturados tiene en el consumo energético de un país y en sus emisiones, coincidiendo con otros autores (Grossman y Krueger, 1995) que decían que a medida que un país se desarrolla deja de producir ciertos bienes intensivos en energía y pasa a importarlos de países con leyes medioambientales menos estrictas, lo cual tiene un efecto pernicioso sobre la reducción de emisiones globales, sobre todo porque además en esos países se tiende a ser más ineficientes en el consumo energético. Por ejemplo, no es lo mismo el consumo energético de la fabricación de automóviles que el consumo energético “enterrado” en los productos utilizados para su fabricación, como es el hierro, que es muy intensivo en energía (véase Nahman y Antrobus, 2005 para una visión comprehensiva de la influencia del comercio internacional en la CKA).

En este sentido, Suri y Chapman (1998) demostraron que si se contabiliza el consumo energético del comercio internacional, el nivel de renta per cápita en el que se alcanza el punto de inflexión de la CKA subiría hasta un nivel 4 veces más alto, porque las importaciones tienen un alto contenido energético. Así, los países desarrollados se benefician de la contaminación evitada al importar productos intensivos en energía de los países en vías de desarrollo. Los autores estiman que un incremento del 10% en las importaciones de los países desarrollados contribuye a la reducción de entre 1,3 y 1,7% de sus necesidades energéticas. En esta línea Stern et al., (1996) afirman que la mejora de la IE de países como Japón o EEUU se debe a la importación de materiales intensivos en energía, por lo que los cambios estructurales se producen tanto internamente como entre países. Así, las naciones más desarrolladas se especializan en aquellas actividades manufactureras de menor contenido energético y de recursos.

La deslocalización no es una solución sostenible, ya que a nivel global su efecto sobre el consumo energético y las emisiones puede ser muy negativo, puesto que los países en vías de desarrollo no cuentan con las mismas regulaciones de calidad y eficiencia

que las de los países desarrollados, lo que da lugar a un mayor consumo energético y la necesidad de transportar esos bienes hacia los países de consumo. No obstante, hay quienes argumentan que los países en vías de desarrollo pueden incorporar los avances tecnológicos en las nuevas instalaciones industriales, por lo que producen los bienes de forma más eficiente (Nahman y Antrobus, 2005). De esta forma se produciría el deseado salto en la CKA, por el que la transferencia de tecnología permitiría evitar una parte de la contaminación que otros países han generado al industrializarse por no disponer de tecnologías avanzadas.

La evidencia empírica ha demostrado que, aunque algunos países se encontraban en una fase de desmaterialización, en los noventa se produce un punto de inflexión a partir del cual la IE comenzó a crecer en algunos países. Es lo que algunos investigadores denominaron como una tendencia "rematerializadora", porque la curva entre crecimiento económico y consumo energético tiene una trayectoria en forma de "N" (en vez de la "U invertida"), en la que se sucederían episodios de "desmaterialización", seguidos de períodos de fuerte exigencia de energía y materiales por parte de las economías industrializadas. Algunos autores identificaron entonces tres fases en la evolución de la IE: en una primera fase, el consumo de energía crece de forma paralela al crecimiento de la economía, ya que está basada en actividades intensivas en energía; en una segunda fase, se produce una reducción en la tasa de IE, debido al aumento de la producción del sector servicios respecto al total; en la tercera fase, se puede iniciar por muy diversos motivos una nueva fase de materialización, por ejemplo, al introducir nuevas actividades en el proceso económico. Esta fase dura hasta que nuevas innovaciones tecnológicas permitan un nuevo desacoplamiento.

Algunos autores afirman que la hipótesis de la CKA podría únicamente cumplirse en el corto plazo con contaminantes con efectos locales, donde los impactos ambientales y sobre la salud son más claros y los costes de actuación menores (como es el caso del SO<sub>2</sub>), mientras que en el caso de contaminantes con efectos más globales, a más largo plazo y cuya reducción es más complicada (como es el caso del CO<sub>2</sub>), los impactos ambientales aumentarían con el nivel de renta (Roca y Padilla, 2003). Tampoco queda claro si en el futuro se volverán a repetir episodios de desmaterialización del pasado, ya que tal y como apunta Ramos-Martín (2003: 61-62) "esto puede implicar que los cambios que nosotros estamos analizando usando viejos indicadores de contaminación no reflejen necesariamente el estrés ecológico inducido por las economías modernas; si éste es el caso, la CKA simplemente no ve lo que está sucediendo en la realidad".

Algunas de las críticas o matizaciones a los estudios sobre la desmaterialización de la economía son:

1. Los datos agregados se miden a menudo por el peso de la energía sobre el producto interior bruto, como índice de la "eficacia" del uso material, pero esto

probablemente tiene poco significado económico porque el consumo energético es solamente una de las muchas cualidades que los usuarios consideran al elegir los materiales (Cleveland y Ruth, 1999).

2. Muchos análisis no representan explícitamente la demanda, el cambio tecnológico o el cambio estructural y no utilizan las metodologías que pueden probar la presencia y el peso relativo de estas fuerzas.
3. Las técnicas utilizadas para examinar las "tendencias" en series temporales y comparaciones entre países carecen a menudo de rigor estadístico (Cleveland y Ruth, 1999; Ansuategi y Arto, 2003, Smil, 2003)
4. Poca atención se ha prestado en cuantificar al efecto "rebote," que significa que las mejoras en eficiencia pueden suponer un aumento posterior del consumo del correspondiente producto o de otro, si se consiguen ahorros económicos, especialmente en el sector energético (Sorrel, 2007).
5. Una mejora de un indicador puede explicarse por el comportamiento negativo de otro indicador, por ejemplo, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> se puede deber a un incremento de la participación de la energía nuclear y su consiguiente generación de residuos.
6. Las estimaciones de la renta per cápita están basadas en la media de renta per cápita y como ésta no sigue una distribución normal, una parte importante de la población se sitúa generalmente por debajo del nivel medio, por lo que sería mejor utilizar la mediana de la renta per cápita. La consecuencia es que los países se encontrarían en niveles de desarrollo inferiores a los que refleja la media y en muchos casos la degradación ambiental continuaría en el tiempo (Labandeira et al., 2006).
7. Algunos autores defienden que los precios energéticos explican la evolución de la IE en muchos países y su inclusión desmonta las teorías de la desmaterialización (Richmond y Kaufmann, 2006).
8. Por último, la CKA supone una relación unidireccional entre economía y medioambiente, cuando ésta es bidireccional puesto que no sólo el crecimiento económico condiciona la calidad ambiental, sino que también algunas formas de degradación ambiental limitan el crecimiento económico.

## **2.3. Factores que afectan a la intensidad energética**

En la literatura económica sobre la relación entre crecimiento económico y consumo energético se mezclan indicadores de IE y eficiencia energética. A menudo se da a entender que la IE es un indicador de la eficiencia energética de un país. No obstante esto se debe matizar.

En teoría económica, se suele medir la diferencia de eficiencia entre las empresas utilizando el concepto de eficiencia de Farrell (1957), que entiende la ineficiencia como la desviación respecto a los mejores resultados obtenidos por las empresas del sector. Este análisis relativo se plasma en una frontera de producción que representa el comportamiento eficiente de una unidad productiva y que relaciona el uso de unos inputs directos (trabajo, energía, materias primas) con el máximo output que se puede obtener con la tecnología actual. Las empresas operan por debajo de ese umbral de eficiencia debido a alguna forma de ineficiencia, que Farrell divide en asignativa o técnica. La primera se debe a errores a la hora de elegir la combinación óptima de factores productivos dados sus precios relativos. La segunda representa un fallo para alcanzar el máximo output posible de cualquier combinación de inputs. El producto de estas dos ineficiencias es la “ineficiencia económica” que se puede deber a factores bajo el control de las empresas (conocimientos específicos, capacidad directiva, etc.)

La estimación de las fronteras de producción requiere información muy precisa sobre las cantidades físicas de inputs y outputs que, en la práctica, son muy difíciles de obtener. Por ello se utilizan a menudo como aproximación valores monetarios como output y los valores físicos o monetarios como inputs.

Desde un punto de vista energético, la función de producción de las actividades económicas debería establecer una cantidad de energía necesaria para producir una unidad de producto, cantidad que variará en función de la complejidad del proceso y la tecnología utilizada. Se podría decir que un proceso es tanto más eficiente cuanto más se acerca su consumo de energía a la cantidad óptima estipulada en su función de producción. Pero resulta imposible llegar a tener las funciones de producción de todos los procesos y de todas las empresas españolas (o de otros países) por lo que se suele recurrir a métodos de análisis más agregados para medir la eficiencia energética de las economías como, por ejemplo, el consumo energético de cada sector dividido por su Valor Añadido Bruto (VAB).

La comparación entre países con indicadores de eficiencia energética es una labor complicada por la falta de datos y procesos homogéneos, por las diferencias tecnológicas, estructurales y de comportamiento. Además, cada país dispone de sus propias encuestas estadísticas lo que dificulta la homogeneización de resultados, de ahí la importancia de la labor de los organismos internacionales.

En principio, la estructura económica de un país no afecta a la eficiencia energética, ya que, por ejemplo, el mayor peso del sector industrial en la economía no afecta a la

eficiencia del consumo de la industria para un determinado proceo. Sin embargo, la estructura económica sí que influye en la IE agregada, ya que el indicador es el resultado de la agregación de sectores con diferentes IE. Por ejemplo, la industria puede consumir varias veces la energía por unidad de valor añadido que consume el sector servicios, e incluso dentro de la industria pueden darse diferencias enormes en los consumos unitarios de energía en las diferentes ramas. Por ello, una economía con una mayor concentración de la industria intensiva en energía presentará, *ceteris paribus*, un mayor ratio de IE agregada que otras con una menor presencia de dicha industria o con un mayor grado de terciarización, lo cual no significa que la industria sea ineficiente, ya que eso dependerá de cómo sea la aproximación de cada proceso consumidor de energía a su función óptima de producción. El problema es que las estadísticas energéticas agregan el consumo energético por lo que aparece un componente estructural en todos los sectores, que seminimiza cuanto mayor sea el grado de desagregación.

En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios que miden desde una perspectiva macroeconómica la relación entre diversas variables y la IE. Estos estudios coinciden en que los factores que afectan a la IE son el cambio tecnológico, los cambios estructurales, la sustitución de combustibles y los precios. Mientras que no existe el mismo consenso respecto al efecto saturación, las preferencias de los individuos y la sustitución entre energía y otros inputs tienen en el indicador. A continuación se hace un breve repaso de algunos de estos factores, para después realizar un análisis econométrico sobre la influencia de alguno de ellos en la evolución reciente de la IE en los países de la OCDE.

### **A. CAMBIO TECNOLÓGICO**

Las tecnologías más avanzadas pueden reducir la cantidad de materiales necesarios para producir un mismo bien o servicio. Estas mejoras se han producido en todos los países y en todos los sectores a lo largo de la historia económica. 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. Sin embargo, el progreso tecnológico no implica siempre una reducción directa de la IE por dos efectos:

- Una mayor demanda energética puede superar las mejoras de eficiencia, ya que el cambio tecnológico puede generar nuevos procesos y productos con mayores presiones ambientales. Por ejemplo, la mejora de eficiencia de los coches pueden ser compensada con una demanda de coches más potentes y, por tanto, más pesados, que consumen más energía.

- La introducción de un proceso innovador puede originar el “efecto rebote” (también llamado “paradoja de Jevons” o postulado “Khazzoom-Brookes”). Este efecto consiste en que la mejora de eficiencia conseguida puede compensarse parcialmente con un mayor consumo energético como consecuencia de: la riqueza adicional generada por el coste energético ahorrado, que se utiliza para la adquisición de otros bienes que a su vez requieren más energía, tanto para su producción como para su utilización; la reducción de la energía necesaria para producir una unidad de servicio energético provocada por la innovación reduce el precio de dicho servicio, lo cual genera un incremento de la demanda de ese servicio; y, por último, los nuevos precios originan ajustes en la distribución de capital que resultan en una mayor demanda de energía a largo plazo (véase Sorrel, 2007, para un estudio detallado sobre el efecto rebote en el Reino Unido y Frondel et al, 2007 para un estudio del efecto rebote en el transporte en Alemania).

## **B. CAMBIOS ESTRUCTURALES**

En teoría, a lo largo del desarrollo económico la estructura económica cambia hacia ramas que demandan menos energía, como el sector servicios. Asimismo, en el sector industrial se tiende hacia ramas de actividad menos intensivas en energía y de mayor valor añadido, lo que redundaría en la mejora de la IE global. Pero esto no siempre sucede así, los sectores a veces demandan más energía para sus procesos, tanto en el sector terciario y residencial, por el incremento de equipos ofimáticos, como en el sector industrial, con la mayor automatización de procesos, lo que ocasiona que los cambios estructurales no conlleven necesariamente una reducción de los consumos energéticos. Además, se supone que el sector servicios tiene un impacto energético reducido, pero esto sucede porque no se tienen en cuenta los consumos indirectos que genera. Por ejemplo, el sector turístico induce a un mayor consumo energético en el transporte y en el sector eléctrico.

Los cambios estructurales son más visibles en períodos de tiempo largos, puesto que a lo largo del desarrollo económico se producen períodos de fuerte inversión en infraestructuras (viviendas, carreteras, puertos, etc.). La construcción de estas infraestructuras puede demandar coyunturalmente una mayor cantidad de energía, que se queda después “enterrada” en los edificios o carreteras.

## **C. SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLES**

La sustitución de combustibles puede modificar la IE por su diferente nivel de eficiencia. Por ejemplo, para calentar una casa se necesitan menos tep de gas que de carbón.

Otro aspecto es que la sustitución de combustibles puede generar más valor económico, como sucede con la electricidad, que debido a su coste, disponibilidad, regulación y funcionalidad tiene una mayor calidad energética<sup>4</sup> (Stern y Cleveland, 2004). Esta calidad refleja la utilidad económica por valor calorífico de cada energía y algunos autores afirman que la mayor parte de la reducción de la IE viene de la mejora de la calidad de la energía (Stern y Cleveland, 2004 y Schurr, 1984).

Finalmente, los valores asignados a la eficiencia de las tecnologías de generación eléctrica pueden tener una influencia muy significativa en la evolución de la IE.

#### **D. PRECIO**

Una subida de precios energéticos puede promover el ahorro energético mediante la contracción del consumo, la sustitución de inputs energéticos y avances tecnológicos hacia procesos menos intensivos en energía. Un análisis del grado en el que los incrementos de precios energéticos afectan a las mejoras de eficiencia energética entre 1973 y 1990 en Estados Unidos (Newell et al., 1999) llegó a la conclusión de que solamente una cuarta parte de la mejora de eficiencia energética 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. Por otro lado, el estudio realizado por Cuerdo (2001) demuestra la independencia del consumo energético ante variaciones de precios en España entre 1964 y 1990.

#### **E. EL EFECTO SATURACIÓN**

El efecto saturación contribuye a la disminución de la IE cuando la renta supera cierto umbral, ya que por ejemplo no existe tiempo material para consumir más energía en calefacción. Sin embargo, existe también la posibilidad de que los consumidores quieran casas más grandes, por lo que en ese caso se necesitará más energía para calentarlas, aunque se llegaría también aquí a un punto de satisfacción, en el que no se demande más espacio en el hogar, como apunta Cleveland y Ruth (1999).

#### **F. LAS PREFERENCIAS DE LOS INDIVIDUOS**

Una vez se alcanza un determinado nivel de renta, la combinación escogida entre bienes y servicios y sus requerimientos energéticos o calidad ambiental cambia, de forma que se puede decidir consumir más calidad ambiental, aunque sea a costa de un consumir menos otros bienes y servicios. Tal y como explican Roca y Padilla (2003) el “planificador social” decide la combinación consumo-contaminación que, dadas las restricciones existentes, maximiza la utilidad del individuo representativo de la sociedad (cuya función de utilidad depende tanto del nivel de consumo como del nivel

---

<sup>4</sup> Las energías de mayor a menor calidad son: electricidad, gas, petróleo, carbón, madera y biocombustibles.

de contaminación). Estos modelos micro económicos presuponen que los individuos cuanto más ricos son, más se preocupan por la calidad ambiental, por lo que a medida que un país crece económicamente es probable que el aumento de renta haga disminuir la contaminación. Las limitaciones de esta hipótesis, según estos autores, son considerables, ya que la calidad ambiental no se compra sino que se decide a nivel político y dependerá de si los efectos medioambientales recaen en las fronteras del país. Además, en la realidad, existe una desigualdad entre las preferencias de los individuos, la renta y la participación en los costes y en los conflictos que el consumo energético genera.

### **G. LA SUSTITUCIÓN ENTRE ENERGÍA Y OTROS INPUTS**

La literatura no acaba de demostrar si existe realmente esta relación de sustitución entre energía y trabajo o capital. Así, por ejemplo, para la economía española, Climent y Pardo (2007) demuestran que existe una relación de complementariedad entre energía y trabajo (esto significa que a más trabajo más energía) y sin embargo Cuervo (2001) identifica una aparente sustitución entre energía y trabajo entre 1964 y 1990. Por lo que se refiere a la relación entre energía y capital, algunos investigadores defienden su complementariedad (Cleveland y Ruth, 1999), mientras que Cuervo demuestra que dicha relación es errática para el caso español.

### **H. OTROS FACTORES**

Otro aspecto que puede influir en la IE es el grado de dependencia energética o la disponibilidad de recursos autónomos. Los datos muestran unas IE más altas en los países productores de petróleo. Otra cuestión es cómo evoluciona la IE en el tiempo en estos países en función de sus pautas de crecimiento económico.

Las condiciones climáticas de cada país tienen una influencia considerable en los diferentes niveles de IE. Así, los países del norte de Europa tienen una IE más elevada que los del Mediterráneo por las mayores necesidades de calefacción. Este mismo factor hace rentable la introducción de medidas de eficiencia energética que se pueden ver reflejadas en la evolución de la IE de algunos países en algún momento en el tiempo.

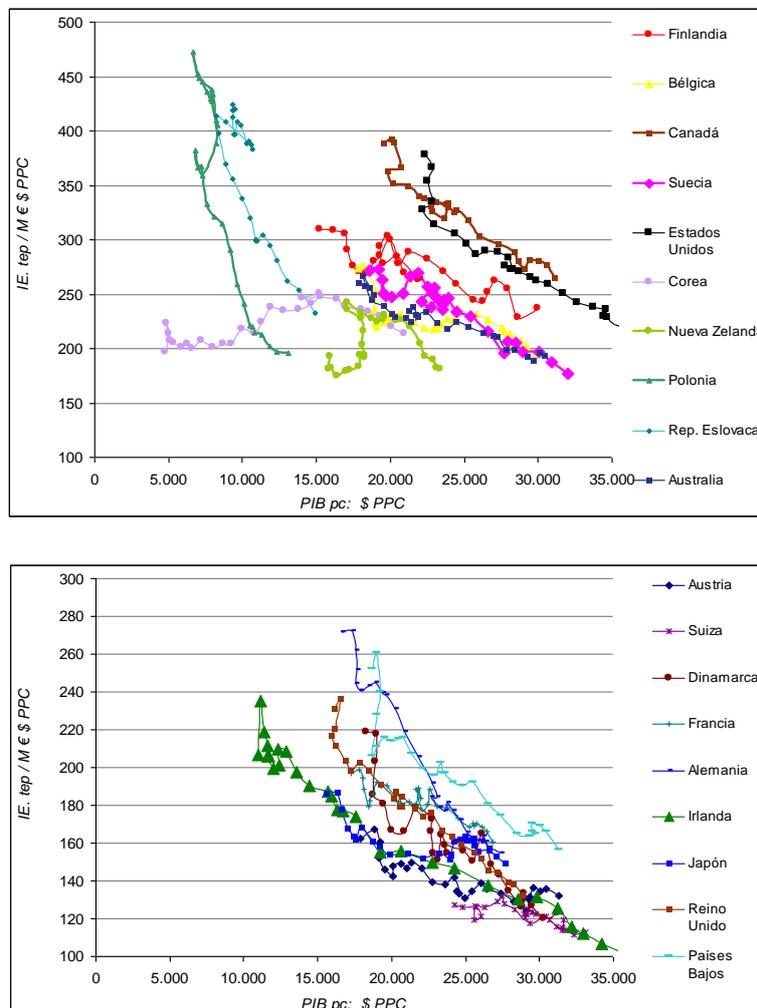
## **2.4. Análisis empírico de la intensidad energética en los países de la OCDE**

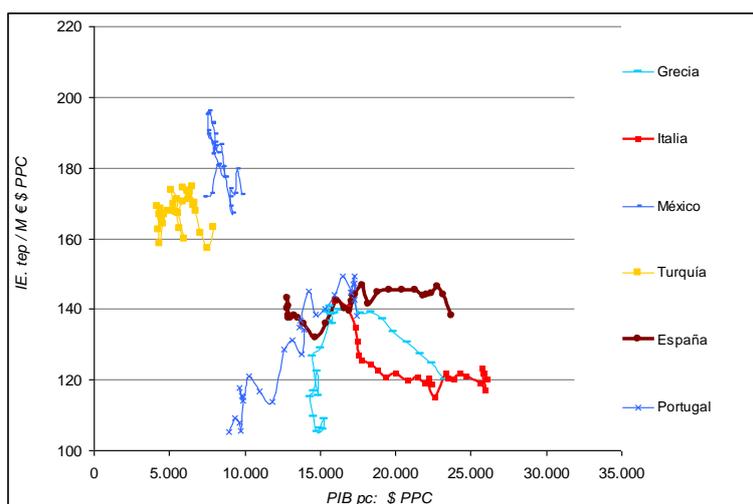
Cuando se analiza la evolución de la IE y la renta per cápita en los países de la OCDE se observan ciertos indicios de desmaterialización, sobre todo en los países del norte y este de Europa, Australia, Estados Unidos y Canadá. Los países mediterráneos como España, Turquía, Grecia o Italia muestran una tendencia menos clara, que puede

deberse al distinto desarrollo y especialización económica y a las diferentes condiciones climatológicas. No obstante estos países tienen las IE más bajas cuando se analizan en dólares constantes de 2000 ajustados a la paridad de poder de compra (PPC).

En el análisis de la literatura sobre las teorías de desmaterialización se han presentado algunos de los aspectos que influyen en la evolución de la IE. En esta sección se analiza un modelo con técnicas de datos de panel para analizar cuantitativamente la relación de la IE con esas variables. El modelo se aplica a un conjunto de 25 países de la OCDE, considerando observaciones anuales del periodo 1978-2006 a partir de datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA en sus siglas en inglés). La tabla 2.1 muestra los estadísticos descriptivos de la muestra utilizada.

**Gráfico 2.4. Evolución de la IE y renta per cápita en la OCDE (1978-2006)**





Fuente: (IEA, 2008a)

**Tabla 2.1. Estadísticos descriptivos de la muestra analizada.**

	<b>Cobertura Electricidad</b>		<b>IE Materiales</b>		<b>PIB pc</b>	<b>Precios Residencial</b>	
Media	0,61	0,17	203	230	19510	0,92	587
Mediana	0,42	0,17	187	210	20060	0,85	603
Máximo	2,30	0,32	473	682	37572	3,08	1.269
Mínimo	0,04	0,06	103	24	4.192	0,18	99
Desv. Típica	0,47	0,05	73	128	7.286	0,42	282

La ecuación explicativa del modelo es:

**IE= F (pibpc, precios, residencial, electricidad, materiales, cobertura)**

La variable dependiente es la IE (medida en tep por unidad de PIB en dólares constantes de 2000 ajustados a la paridad de compra (PPC)) y las variables explicativas son: el PIB per cápita ajustado a PPC (pibpc) (IEA, 2008a), los precios de la gasolina ajustados a la PPC (precios) (IEA, 2008b), la participación de la electricidad en el total del consumo energético (electricidad) (IEA, 2008a), el consumo energético residencial por habitante (residencial) (IEA, 2008a), el consumo energético de materiales ligados a la construcción (metales básicos y minerales no metálicos) per cápita (materiales) (IEA, 2008a), y el grado de autosuficiencia de recursos energéticos (cobertura) (IEA, 2008a).

Una buena parte de los estudios realizados sobre la desmaterialización demuestran que, a medida que los países se desarrollan y aumenta su PIB per cápita, las IE se reducen. Buena parte de esta relación se debe a la transformación de la estructura productiva de los países a lo largo de su desarrollo.

El consumo residencial per cápita intenta capturar el efecto clima, puesto que cuanto más frío hace más energía se consume (o en su caso cuanto más calor hace más

energía se consume en climatización). No obstante la variable recoge también otros aspectos como la mayor tasa de equipamiento de los hogares, que está muy vinculada a incrementos de renta per cápita.

Los precios de los combustibles de automoción pueden condicionar la evolución de la IE, tanto directamente en el transporte, como indirectamente en los precios de la electricidad de algunos países. Un incremento del precio supondrá en principio un descenso del consumo energético y por tanto de la IE.

La construcción de infraestructuras requiere de materiales que son muy intensivos en energía (por ejemplo, el cemento necesita 2.000 tep/M€). Al incluir el indicador de materiales per cápita (Materiales) se puede capturar cómo los posibles repuntes de la construcción en los países a lo largo de su desarrollo económico impulsan la IE.

Como se ha comentado anteriormente, algunos autores consideran que la sustitución de combustibles primarios por electricidad puede generar más valor económico, debido a su funcionalidad y versatilidad para realizar actividades productivas de mayor valor añadido. No obstante, el efecto final sobre la economía dependerá del efecto cantidad, esto es, la cantidad de procesos adicionales que requieren electricidad, que puede para algunos países compensar ampliamente el efecto eficiencia. También se debe tener en cuenta que esta relación es mucho más compleja porque depende de la eficiencia de la energía primaria utilizada para producir esa electricidad.

Finalmente, los países que poseen abundantes recursos energéticos suelen consumirlos de forma más abundante, ya sea por concentrar sus actividades económicas en sectores que demandan mucha energía o porque la utilización de este factor de producción conlleva unos costes más reducidos al disponer de energía abundante, lo cual impulsa un consumo más ineficiente de recursos.

El modelo se estima por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), con las variables en logaritmos para homogeneizar todas las unidades (además así la distribución de las variables se acerca a la normalidad), y en primeras diferencias, ya que las variables Precios y pibpc no son estacionarias en niveles y tienen raíz unitaria.<sup>5</sup> Para verificar que las variables en niveles no son estacionarias, se ha llevado a cabo el test de raíz unitaria en todas las variables y se ha aceptado la hipótesis nula de no estacionariedad.

Una estimación en diferencias de logaritmos es similar a un ejercicio en tasas de crecimiento, se linealiza el problema y se obtienen las contribuciones de las variables a la tasa de crecimiento de la IE.

---

<sup>5</sup> Al realizar el test de raíz unitaria, se ha aceptado la hipótesis nula de no estacionariedad para estas dos variables. En el resto se ha rechazado la hipótesis nula.

Los países seleccionados tienen características muy diferentes entre sí. Con objeto de incorporar peculiaridades propias de cada país, que bien son inobservables o que se mantienen constantes a lo largo del tiempo, se estima un modelo con efectos fijos.<sup>6</sup> Entre los elementos no observables o estructurales de cada país se incluyen aspectos como la climatología, la ubicación geográfica, el modelo de urbanización, entre otros. Este conjunto de factores estructurales tiene validez en la estimación con efectos fijos puesto que varían poco en el período temporal considerado.

La ecuación explicativa del modelo es la siguiente:

$$\Delta \log(IE_{t,i}) = \alpha_i + \beta_1 \Delta \log(\text{pibpc}_{t,i}) + \beta_2 \Delta \log(\text{residencial}_{t,i}) + \beta_{3,j} \Delta \log(\text{materiales}_{t,i}) + \beta_4 \Delta \log(\text{electricidad}_{t,i}) + \beta_5 \log(\text{precios}_{t,i}) + \beta_6 \Delta \log(\text{cobertura}_{t,i}) + E_t$$

donde  $\alpha_i$  refleja los efectos fijos de cada país (i),  $\beta_{1,2,\dots,6}$  son los coeficientes para cada variable explicativa y  $E_{t,i}$  es el residuo.

En la tabla 2.2 se muestran los resultados de la estimación con un modelo con efectos fijos y sin efectos fijos. Merece destacarse que todas las variables son significativas en ambos modelos.<sup>7</sup>

**Tabla 2.2. Resultados del análisis de la intensidad energética en la OCDE.**

Variable dependiente: dlog (IE)						
Variables	Modelo sin efectos fijos			Modelo con efectos fijos		
	Estimadores	Desv. Típica	Prob.	Estimadores	Desv. Típica	Prob.
C	0,005	0,002	0,002	0,006	0,001	0,000
DLOG(PIBPC)	-0,504	0,040	0,000	-0,537	0,040	0,000
DLOG(RESIDENCIAL)	0,192	0,017	0,000	0,176	0,017	0,000
DLOG(MATERIALES)	0,053	0,011	0,000	0,046	0,010	0,000
DLOG(PRECIOS)	-0,044	0,011	0,000	-0,040	0,011	0,000
DLOG(COBERTURA)	-0,079	0,013	0,000	-0,080	0,013	0,000
DLOG(ELE)	-0,206	0,036	0,000	-0,260	0,036	0,000

Nº Observaciones	700	700
R2 Ajustado	0,397409	0,4518
F	78	20
(Grados de libertad)	694	669

<sup>6</sup> Se ha realizado el Test de Hausman para contrastar si los efectos son o no independientes de las variables explicativas. Si están correlacionados se utilizan efectos fijos y si no lo están, se utilizan efectos aleatorios. Al realizar el test de Hausman se rechaza la hipótesis nula de especificación con efectos aleatorios, debido a la ausencia de correlación entre los regresores y los efectos individuales. Por ello se estima el modelo con efectos fijos.

<sup>7</sup> La variable pib pc está correlacionada con la variable electricidad y la residencial, por lo que podría existir cierta multicolinealidad. No obstante, ésta sólo afecta a los errores estándar de esas variables y no a sus coeficientes. Los resultados muestran que la multicolinealidad no influencia significativamente al modelo puesto que todas las variables son significativas. Se ha realizado la simulación reduciendo el número de años y el resultado es similar.

Atendiendo a sus coeficientes estimados, se pueden extraer interesantes conclusiones.

En primer lugar, los incrementos de renta per cápita conducen a fuertes reducciones en la IE. Esto podría deberse a que estos países han alcanzado un nivel de equipamiento y desarrollo avanzado y las nuevas actividades productivas no consumen tanta energía por unidad de valor añadido. En algunos casos, como en algunos países del Este, su reducción se podría explicar porque han atravesado un proceso de reestructuración de su actividad productiva al partir de un modelo económico basado en industrias pesadas y poco eficientes.

En segundo lugar, el modelo muestra que el aumento de consumo residencial genera una mayor IE. Esta variable captura el efecto temperatura sobre el consumo energético, aunque también incluye otros aspectos como la eficiencia en la provisión de servicios energéticos (electricidad, iluminación y calor) a los hogares y los cambios de comportamiento (menor nivel de ocupación de los hogares, mayor confort, informática del hogar). No está claro que el clima influya tanto en los resultados puesto que está analizando cómo afecta el crecimiento del consumo residencial en la IE y no los diferentes niveles. Una mayor elasticidad podría indicar que las crecientes tasas de equipamiento afectan más a la IE puesto que el consumo residencial representa un alto porcentaje del consumo total y no genera VAB.

En tercer lugar, el modelo demuestra que un aumento de la actividad de la construcción de los países analizados genera aumentos reducidos en la IE. Esto es así por el alto consumo energético de las actividades asociadas a la construcción, como son la fabricación de cemento o el acero, o el consumo de energía para el transporte de estos materiales hasta su punto de consumo.

En cuarto lugar, los aumentos de precios producen un retroceso de la IE, lo cual confirma el comportamiento racional de los consumidores de energía. No obstante el modelo no indica que se pueda conseguir una mejora sustancial de la IE con incrementos de precios. Aunque presumiblemente las elasticidades varían en función de los usos (transporte, residencial, industrial, etc.), las fuentes energéticas utilizadas (productos petrolíferos, electricidad, etc.) y las posibilidades de sustitución.

En quinto lugar, se aprecia una elasticidad a la cobertura de la demanda con fuentes energéticas autóctonas, pero esta ocurre en el sentido inverso a lo que cabría esperar. Esto puede que sea así porque la muestra de países seleccionada se caracteriza por ser principalmente importadores de productos energéticos, en los que este efecto no es particularmente importante.

Finalmente, un aumento del consumo de electricidad genera una reducción de la IE, y es después del PIBPC la variable que más afecta a la IE, sobre todo en los países del norte y mediterráneos. Esto se debe a que a medida que las sociedades crecen

económicamente demandan servicios energéticos más sofisticados en sus hogares y en los procesos productivos, que generan mayor valor añadido.

El análisis presentado permite contrastar algunas de las tesis planteadas por otros investigadores a nivel macroeconómico y da pistas de cuáles son los factores que pueden afectar a la IE de los países. No obstante no arroja información suficiente para comparar países o sectores económicos. Como la IE es la suma de las IE de numerosos procesos y sectores, cualquier intento de analizarla debe intentar desagregarla al máximo. En el capítulo siguiente se presenta la metodología de desagregación de índices que ha sido la técnica preferida por numerosos investigadores para alcanzar ese objetivo.

## **2.5. Estudios sobre la intensidad energética en España**

El estudio de la IE en España ha sido realizado desde diferentes perspectivas, sin llegarse en ninguna de ellas a obtener una imagen completa que permita explicar las razones que explican su evolución divergente con los países de su entorno económico.

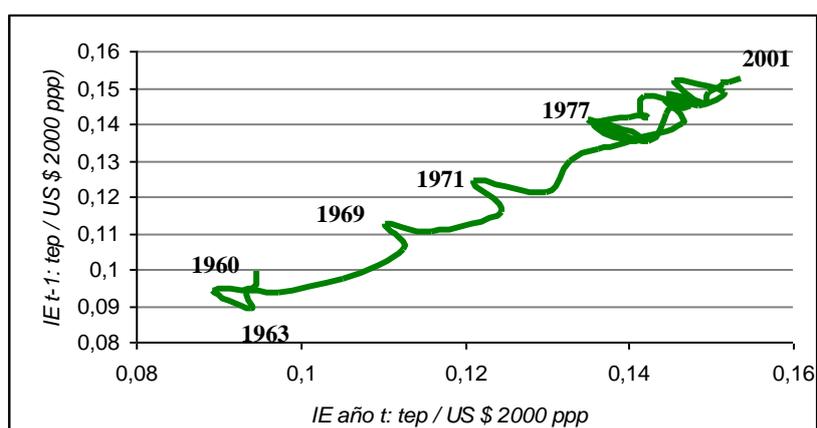
Existe un estudio (CJN Consultores, 2002), de carácter más divulgativo que técnico, en el que se compara la eficiencia energética de España con la de los países de la OCDE. La investigación de los organismos gubernamentales está liderada por el Instituto de Ahorro y Diversificación Energética (IDAE) que publica con regularidad los Boletines de Ahorro, Eficiencia Energética y Energías Renovables (IDAE, 2000-2007) y que participa activamente en la elaboración de los informes internacionales que realiza ADEME por indicación de la Comisión Europea dentro del Proyecto ODYSEE de la Dirección General de Transporte y Energía de la Comisión Europea. Finalmente, se está realizando un importante esfuerzo de medición de la sostenibilidad económica energética mediante indicadores, entre los que se encuentra el de la IE, para evaluar la evolución energética española (Cátedra BP, 2005; Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2005).

En estos estudios divulgativos el análisis de las series temporales está limitado a las variables básicas, lo que se puede explicar en gran medida por la escasez de estadísticas y por los problemas de homogeneizar unidades de análisis. Como el concepto de IE es tan amplio e incluye tantos factores con efectos contrarios (actividad y estructura económica, eficiencia energética de multitud de sectores, tecnologías de generación de electricidad, precios, etc.) no se pueden sacar conclusiones definitivas observando sólo las tendencias de las series temporales de las grandes magnitudes, por lo que se hace necesario introducir análisis econométricos y/o matemáticos.

Desde el punto de vista académico existen varios trabajos que abordan la cuestión de la IE en España desde una perspectiva de ecología industrial (Carpintero, 2003; Ramos-Martín, 2003), micro económica (Aranda et al., 2003), medioambiental (Alcántara y Roca, 1995; Alcántara y Duro, 2004), fiscal (Labandeira et al., 2005), econométrica (Climent y Pardo, 2007), industrial (Alcántara y Padilla, 2002; Cuervo, 2001; Marrero y Ramos-Real, 2008) o regional (Ansuategui y Arto, 2003). A continuación se revisan las conclusiones más relevantes de estos trabajos.

Ramos-Martín (2003) argumenta que los sistemas económicos se sitúan en torno a puntos “atractores”<sup>8</sup> de consumo energético estables que son seguidos por cambios radicales en el paradigma tecnológico y en la estructura industrial del país, lo que implica un movimiento hacia otro punto atractor, que da cierta estabilidad al equilibrio dinámico, pero en un diferente nivel de consumo energético. Según este autor el desarrollo de las sociedades consiste en el transitar de un punto atractor al siguiente. Este efecto se muestra para la economía española en el gráfico 2.4. En el eje vertical se representa la IE en el año t-1, mientras que en el eje horizontal se representa la misma variable para el año t. Al unir esos puntos se muestra la existencia de puntos atractores en los años 1960- 1966, una fase de “reenergetización” de la economía, y otro punto atractor, más difuso, entre 1976-2001. La conclusión de este análisis es que si se examina un período corto de tiempo, el cambio estructural puede traer un período de estabilidad, que podría confundirse con un período de desmaterialización, pero al ampliar el período analizado se puede apreciar una trayectoria bien distinta.

**Gráfico 2.5. Diagrama de fases de la intensidad energética en España.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Ramos-Martín (2003) y balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

<sup>8</sup> Los sistemas económicos estarían en unas fases estables en las que los parámetros del equilibrio dinámico de su comportamiento energético se mueven alrededor de lo que Ramos-Martín denomina puntos “atractores” (Ramos-Martín, 2003: 64).

Por otro lado, Ramos-Martín identifica una correlación entre el consumo energético del sector productivo y la productividad de la economía española, por el que los cambios en la IE de España se producen por las diferencias en la velocidad de ajuste entre el consumo energético y la productividad y/o por los cambios ocurridos fuera del sector de trabajo remunerado. En el caso español, según este autor, el aumento del consumo de energía en los sectores productivos lleva aparejado un incremento de la productividad económica del trabajo, lo cual significa que se reduce el tiempo dedicado a actividades que generan valor añadido y se produce un aumento del tiempo de ocio en el sector residencial, lo que se traduce en un aumento de la energía consumida por este sector. La conclusión es que el aumento de la capitalización de los hogares, y su consiguiente incremento del consumo energético, es uno de los factores que explica el aumento de la IE en España.

Otros investigadores utilizan 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). La conclusión es que las diferencias en Europa están influidas principalmente por el efecto directo de la intensidad de la energía y por el efecto de la demanda, sin que las diferentes estructuras económicas de los países sean un factor importante. Los países más relevantes en el consumo de energía industrial son también los más relevantes cuando se analizan los sectores en la UE. Por ello, el control del consumo de energía en un número reducido de sectores industriales y en un grupo de países puede tener efectos muy positivos en la reducción del consumo energético europeo. El mayor inconveniente de este análisis es que no analiza la evolución de la IE en su conjunto al no incluir la evolución del sector terciario, del transporte y residencial. Otro estudio (Alcántara y Padilla, 2002) aporta un marco teórico para la identificación de los sectores clave en el consumo energético tanto de forma directa como indirecta, lo que permite encontrar factores diferenciales con el resto de los países europeos, aunque no profundiza en ellos.

En el marco de la Estrategia de Eficiencia Energética Española (E4) (Ministerio de Economía<sup>9</sup>, 2003), otros investigadores (Aranda et al., 2003) identifican el ahorro potencial de energía en varios procesos productivos industriales, siguiendo la teoría micro económica de producción de Farrel (1957). En primer lugar, los autores estiman las funciones de producción y plantean un problema de minimización del coste para un volumen de producción dado de dos sectores industriales (metales y agroalimentario). Para ello, utilizan el valor añadido como medida de output y las variables exógenas de

---

<sup>9</sup> La Secretaría General de la Energía ha dependido en algunos años del Ministerio de Economía, como sucedía en el año 2003 y desde 2004 forma parte del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

capital, trabajo y gasto en energía, y gastos e indirectos como la publicidad<sup>10</sup> como inputs directos. La conclusión de este análisis es que las empresas tienden a sustituir los actuales procesos de producción, intensivos en mano de obra, por otros más intensivos en capital, que son a su vez más consumidores de energía. Después, analizan diferentes instalaciones mediante la realización de 160 diagnósticos energéticos y calculan los potenciales de ahorro energético y económico que se pueden alcanzar con medidas amortizables en un plazo de tiempo razonable (entre 3 y 5 años) en los sectores de metales, químico y agroalimentario con las siguientes conclusiones:

- En los metales (incluyen fabricación de productos metálicos y maquinaria y equipo mecánico y excluyen la metalurgia), el ahorro energético en las empresas pequeñas (entre 5 y 15 empleados) puede ser del orden del 1,5% de su consumo energético y del 5,5% en las empresas medianas (más de 15 empleados).
- En el sector químico los ahorros energéticos ascenderían al 5%.
- En el sector agroalimentario, existe una gran diversidad de empresas con gran dispersión geográfica y con un consumo energético relativamente reducido en comparación con otras industrias. El potencial de ahorro energético es del orden del 15% de su consumo energético en las pequeñas empresas y tan sólo del 5% en las empresas medianas.

En esta línea de investigación, otro trabajo (Esteban et al., 2003) compara cuál es el potencial de reducción del consumo energético de las industrias españolas siguiendo un enfoque *bottom-up* (de arriba abajo). La conclusión es que se puede mejorar la eficiencia de las empresas españolas reduciendo el consumo energético en un 23%, tal y como se detalla en la tabla 2.3. La ineficiencia de las industrias se puede clasificar en tres grupos:

- Hay empresas en las que, curiosamente, la introducción de mejoras tecnológicas aumentaría su consumo energético (sector cárnico, bebidas, estructuras metálicas e instrumentos a medida). Estas conclusiones coinciden con otro estudio (Aranda et al., 2003) que admite que desde un punto de vista económico la solución eficiente es consumir más energía.
- Hay varios sectores que pueden reducir su consumo energético en más de un 90% (madera, muebles, mecánica, fabricación de otras máquinas y textiles y tejidos).

---

<sup>10</sup> Existen otros inputs estratégicos como la diferenciación de producto y la publicidad que pueden originar diferencias en la competitividad de las empresas y desviaciones respecto a la frontera de producción.

- Hay un grupo de sectores asociados a la construcción cuyo potencial de mejora es reducido (azulejos y baldosas, hormigón y piedra).

**Tabla 2.3. Potencial de reducción del consumo energético de los sectores industriales.**

<b>Sectores</b>	<b>Potencial reducción CE</b>
Carnico	77%
Pan y elaborados	-64%
Bebidas alcohólicas	104%
Fibras textiles	-47%
Tejidos textiles	-98%
Acabado de textiles	-21%
Otras textiles	-57%
Madera	-97%
Edición	-73%
Azulejos y baldosas	-39%
Hormigón	-44%
Piedra	-24%
Estructuras metálicas	111%
Carpintería metálica	65%
Tratamiento metálico	-17%
Mecánica	-93%
Herramientas y ferretería	-71%
Productos metálicos diversos	-54%
Fabricación de máquinas	-11%
Fabricación de otras máquinas	-90%
Instrumentos de medida	232%
Muebles	-94%
<b>Media</b>	<b>-23%</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Esteban et al. (2003: 269).*

Este trabajo no cubre la totalidad de las industrias del sector, entre las que destacan ramas muy intensivas en energía como son la metalurgia (22% del consumo energético industrial en 2004), la química (22%) y la fabricación del cemento (que supone casi la mitad del consumo energético de minerales no metálicos con un 34%). Los autores no especifican por qué no se analiza dicha información<sup>11</sup>.

Por lo que se refiere al análisis del sector residencial, Labandeira et al. (2005) analizan el consumo energético de las familias ante alteraciones en los precios de bienes y servicios (por cambios en la imposición energético-ambiental) y de la renta utilizan un modelo de micro simulación que conecta con un Modelo de Equilibrio General Aplicado que analiza los efectos globales de una reforma fiscal verde para España.

<sup>11</sup> La información analizada proviene de la Encuesta industrial de 1995 en la que se incluyen 24.000 empresas clasificadas en 100 sectores industriales, pero sólo las empresas con más de 20 trabajadores suministran información sobre el consumo de energía, lo cual restringe la muestra a 9.984 observaciones, agrupadas en 66 sectores.

El modelo micro económico de demanda estima la elección por parte de las familias del consumo de bienes no duraderos: electricidad, gas, GPL (gases de petróleo licuados, esto es, butano y propano), gasolina para transporte privado, transporte público y otros bienes no duraderos. Los datos vienen de la *Encuesta Continua de Presupuestos Familiares* para el período entre 1985 y 1995 del Instituto Nacional de Estadística (INE). El modelo input-output contabiliza el contenido de carbono de cada uno de los bienes y servicios de la economía, calculando, por un lado, las emisiones directas del CO<sub>2</sub> a través del consumo de combustibles fósiles y, por otro, las emisiones indirectas del consumo de otros bienes y servicios de los hogares. Las variaciones de precios debidas al impuesto ambiental se calculan combinando los datos de la tabla input-output para la economía española en el año 1995 con las intensidades sectoriales de CO<sub>2</sub> para 1992.

.Las conclusiones son que un impuesto ambiental de 50 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> causaría un aumento significativo en el precio de la electricidad (+24%) y de los combustibles gaseosos (+15-17%) y provocaría menores incrementos en el precio de los servicios de transporte público (+8,5%) y de las gasolinas (+6,4%), tal y como se puede ver en la tabla 2.5. Este último efecto se produce porque los impuestos energéticos en los hogares son proporcionalmente menores que los del transporte, que son objeto de una notable carga fiscal con propósitos recaudatorios.

**Tabla 2.4. Resultado de la simulación de cambio de precios (%).**

	Precio	Gasto	Demanda
Electricidad	23,7	14	-7,8
Gas	15,8	1,8	-12,1
GPL	17,2	22,9	4,8
Combustible vehículos	6,4	2,5	-3,6
Transporte público	8,5	4,2	-4
Bebidas y alimentación	2,4	-1,3	-3,5
Otros bienes no durables	0,9	-0,4	-1,4

Fuente: Labandeira et al., 2005

Ese incremento de precios produce variaciones en los consumos de electricidad, que, con una elasticidad relativamente más alta, reduciría su demanda en un 7,8%, por lo que el efecto conjunto de aumento de precio y de reducción de la demanda supone un incremento del gasto del 14%. La subida del coste de electricidad conduce a su sustitución parcial por el GLP, debido al uso generalizado de ambos tipos de energía para cocinar y calefacción. Se produce una notable reducción en la demanda de gas natural, consumida principalmente en calefacción y agua en los hogares urbanos. Por último, la rigidez de la demanda energética en los hogares y el transporte supone que, para poder asumir ese aumento de precios, se debería ajustar el gasto en alimentos y otros bienes no duraderos.

La principal aportación de este modelo es que constituye un instrumento muy útil para analizar las consecuencias de cambios en política energética vía precios, de cara a políticas de gestión de la demanda que permitirían reducir la IE de los hogares. El inconveniente es que utiliza datos muy antiguos.

Un estudio crítico con la E4 es el trabajo de Climent y Pardo (2007) en el que se demuestra que a corto plazo la reducción del consumo energético en los sectores clave de la economía (haciendo referencia a las ramas de actividad industriales definidas por Alcántara y Padilla, 2002) limita el crecimiento económico.

Existen datos empíricos que demuestran que una restricción en el suministro energético (como en el embargo de 1974 o el racionamiento energético en Brasil en 2002) es un freno para el crecimiento económico. Las relaciones de causalidad entre consumo energético y PIB han sido analizadas para distintos países mediante diversas técnicas de series temporales, que pretenden cuantificar la fuerza con la que se produce el vínculo entre estas dos variables, aunque según Climent y Pardo (2007), las investigaciones arrojan resultados “no concluyentes y ambiguos” en función de la metodología utilizada, en la frecuencia de los datos y en los países analizados. Según estos autores, esto se debe a que existen una serie de factores que debilitan o esconden las relaciones entre el consumo energético y el crecimiento económico o que simplemente omiten variables relevantes en el análisis. Para demostrar estas hipótesis, realizan un análisis bivalente entre el consumo energético y el PIB a largo plazo para España, que demuestra que no existe una relación bidireccional como consecuencia clara de la omisión de variables. Al realizar un análisis multivariante de la relación entre consumo energético y crecimiento económico, considerando las variables de empleo, índice de precios al consumo (IPC) y precio del crudo *Brent*, se demuestra que estas variables son informativas en el vínculo PIB-energía, ya que se detecta una causalidad a corto plazo unidireccional entre consumo energético y PIB (es el consumo energético el que determina el crecimiento económico y puede limitarlo) y bidireccional a largo plazo. Otras conclusiones interesantes son:

- No existe evidencia ni a corto plazo ni a largo plazo de una relación entre el precio del petróleo y la actividad económica en España entre 1960 y 1999.
- Se produce una causalidad bidireccional entre empleo y crecimiento económico.
- Se detecta una causalidad bidireccional entre consumo energético y empleo, por lo que energía y empleo son complementarios en el proceso productivo.

Finalmente, Cuervo (2001) realiza un análisis del papel de la energía en la industria, a partir de las relaciones que se fijan en su interior entre los diferentes inputs de producción. Merece la pena destacar que en su análisis de la evolución de la IE

industrial entre 1964 y 1990, las series muestran una ganancia creciente de productividad de la energía y, sin embargo, al extender el análisis hasta 2006, como se realiza a continuación, las series muestran una estabilización de la IE industrial.

Al contrario que Climent y Pardo., este autor identifica en el período analizado una sustitución entre la energía y el factor trabajo, al igual que Aranda et al. (2003), que apunta hacia procesos industriales más automatizados, en los que la energía mecánica sustituye a la humana, tanto por un peso creciente de las industrias más automatizadas como por la mayor mecanización de todas las actividades en conjunto. Si bien es cierto que con este proceso de sustitución en la industria en el tiempo y con la terciarización de la economía se agotan las posibilidades de sustitución. Por otro lado, Cuerdo demuestra que el consumo energético se ve influido por las variaciones en el precio del trabajo, pero no al revés, lo cual demuestra que “en los peores años de la crisis energética de los 70 un mercado de trabajo más flexible hubiera paliado, a través de un mayor recurso al empleo, el incremento de los precios de la energía” (Cuerdo, 2001: 127). Sin embargo, la relación entre la energía y el stock de capital fue algo errático en el período estudiado por Cuerdo, lo que mantiene abierto el debate acerca de su supuesta complementariedad. Para la explicación de esta tendencia Cuerdo recurre a conjeturas como que hasta la crisis de los setenta hubo cierta sustitución de capital por energía (aunque el mayor consumo energético por encima del crecimiento del capital podría significar un mayor uso de la capacidad instalada), durante la fase de crisis energética se produjo el fenómeno contrario (por la sustitución de tecnologías más eficientes en el consumo energético) y, finalmente, se aprecia una relación muy estable entre ambos en el último período.

Cuerdo (2001) realiza aportaciones muy acertadas en el análisis de la IE industrial en España. Así, señala que en 1964 la industria española todavía consumía mayoritariamente carbón mientras que los países desarrollados consumían productos petrolíferos, lo que “debió tener algunos efectos sobre la eficiencia y la competitividad industrial, que estarían en la base de una política comercial proteccionista y de un desarrollo industrial orientado hacia la demanda interior” (Cuerdo, 2001: 135). Aunque la sustitución energética lleva finalmente a un modelo diversificado de consumo en España, los diferenciales de precios no explican el consumo de ciertas fuentes energéticas, como lo demuestra el caso del fuel óleo, que pierde participación a pesar de su abaratamiento continuo desde 1983, o de la electricidad que, una vez que domina un proceso productivo, no es desplazada por ninguna otra fuente energética con mejores precios relativos y continúa ganando participación en el consumo energético total.

Marrero y Ramos-Real (2008) realizan un análisis de la IE para los países de la UE15. Estos autores concluyen que entre las causas de la divergencia del caso español con respecto a la UE15 están una pérdida de competitividad del sector servicios debido a la

escasa competencia a la que está sujeta el sector y el boom de la vivienda que ha motivado un incremento de la industria cementera muy intensiva en el uso de energía. No obstante estos autores tan sólo analizan la IE del sector servicios y la industria, dejando un porcentaje muy alto del consumo energético sin explicar (transporte, residencial y sector energético).

Finalmente, un estudio reciente de la Fundación Repsol sobre la eficiencia energética en España ha construido un indicador de eficiencia agregando diferentes indicadores sectoriales de eficiencia energética (Repsol, 2009). Aunque el indicador resultante no se asemeja al indicador de la IE, el estudio parcial de indicadores, como la eficiencia energética del transporte o de los hogares, pueden ser útiles para realizar recomendaciones más concretas. El principal inconveniente de este estudio es que no se puede comparar a priori con otros países por la ausencia de datos homogéneos y porque infravalora el efecto actividad, que muchas veces supera el efecto eficiencia energética.

Recapitulando, los autores y estudios analizados no dan respuestas claras sobre el comportamiento de la IE en España y sobre los motivos que explican su evolución diferencial con respecto a los países de su entorno. Esto se debe a que esta cuestión no ha sido el objetivo prioritario de los autores analizados con la excepción de Ramos-Martín (2003), Marrero y Ramos-Real (2008) y Alcántara y Padilla (2002). Ninguno de estos autores ha analizado la IE de toda la economía española por lo que sus resultados son parciales.

Además, el período analizado tiene una incidencia muy significativa en las conclusiones de los estudios, por ejemplo, el análisis de Cuervo entre 1964 y 1990 arroja unas curvas decrecientes de la IE, debido fundamentalmente a las consecuencias que las crisis energéticas de los años 70 tuvieron en el consumo energético de los 80. Si se extiende este análisis hasta los datos disponibles más recientes, se puede ver una tendencia de rematerialización en los años 90 que sobrepasa los ahorros conseguidos en la década anterior.

## **2.6. Conclusiones**

A lo largo de este capítulo se ha hecho una revisión de las principales teorías acerca de la relación entre crecimiento económico y consumo energético, que se extiende en muchos casos al análisis de las emisiones de gases contaminantes derivados del consumo energético.

Durante los últimos 50 años ha existido un fuerte debate sobre la cuestión de si se produce o se producirá un desacoplamiento del crecimiento económico y el consumo energético una vez que se alcanza un determinado nivel de desarrollo. Los defensores

de las teorías de desmaterialización, apoyados en la similitud de dicho comportamiento con los estudios del economista Kuznets defienden que los países muestran una curva medioambiental en forma de U invertida, mediante la cual defienden que el crecimiento económico puede dar lugar a una mejora de las condiciones medioambientales o reducción del consumo energético. A pesar de que estas hipótesis han sido refutadas desde el punto de vista teórico y empírico por diversos investigadores, existen todavía defensores de las mismas.

En general, los factores que afectan a la relación entre crecimiento económico y consumo energético son el cambio tecnológico, el cambio estructural, los precios de los combustibles, los combustibles utilizados, los cambios en las preferencias de los consumidores y el efecto saturación. En los siguientes capítulos se demostrará cómo han afectado estos factores al caso español y a su comparación con otros países europeos.

La revisión bibliográfica de los estudios realizados para el caso español sobre la evolución de la IE se han abordado, en general, desde una perspectiva medioambiental, industrial, fiscal y regional, pero ninguno de los estudios ha hecho un análisis global de la evolución de la IE en España en la que se tengan en cuenta todos los sectores, como se propone en este trabajo.

En este capítulo se ha comparado el estudio bibliográfico con un análisis empírico de los factores que afectan a la IE de algunos países de la OCDE. Los resultados resultan esclarecedores y confirman algunas hipótesis. Los factores que más han influido en la reducción de la IE en el último cuarto de siglo han sido el crecimiento de la renta per cápita y la mayor utilización de la electricidad para abastecer las necesidades de los sectores productivos y las familias. Un aumento de los precios reduce la IE pero en menor medida. Un aspecto interesante a tener en cuenta y que otros investigadores no han considerado es que cuando un país atraviesa un período de construcción elevada la IE aumenta.

El ejercicio da pistas sobre los factores que afectan a la IE de forma transversal, pero arroja pocas indicaciones de cómo evolucionan la eficiencia energética en general y los sectores productivos en particular. Como se verá en el siguiente capítulo, aquellos trabajos que a nivel internacional analizan y comparan la IE entre países lo hacen con la metodología de la descomposición de índices, puesto que permite profundizar en los sectores claves y analizar cuáles son las medidas correctoras más adecuadas.

## ***3. La intensidad energética en España***

3.1. Introducción.....	62
3.2. Metodología de descomposición de índices .....	63
3.3. La evolución de la intensidad energética .....	81
3.4. Comparación con Europa .....	89
3.5. Análisis de la intensidad energética en España .....	102
3.6. Conclusiones .....	117

## 3.1. Introducción

La creciente preocupación por el cambio climático, el fuerte crecimiento de la demanda energética de los países asiáticos, la excesiva dependencia de fuentes energéticas finitas, y el aumento de los precios de la energía son algunas de las razones que han llamado la atención sobre la necesidad de que las economías consuman energía de forma más eficiente.

A pesar de la importancia de controlar y reducir la IE, en España no se ha progresado mucho: entre 1990 y 2006 la IE aumentó un 6,2% o, lo que es lo mismo, en 2006 se necesitaron 14 tep más para producir un millón de euros que en 1990. En términos económicos esto significa que en 2006 se necesitaron 7.200 euros más que en 1990<sup>12</sup> para la compra de energía por cada millón de euros de VAB producido. Esta evolución contrasta con la de la UE15, que presenta unos ratios de IE menores y una evolución mucho más favorable, con una reducción del 15% en ese período. Si la economía española tuviese unos ratios de IE similares a los europeos, los ahorros en la compra de energía ascenderían a cerca del 4,8% del PIB de 2006.

Estos sencillos cálculos ponen de manifiesto que en términos económicos el ahorro y la eficiencia energética tienen una incidencia importantísima en la competitividad de cualquier economía y esto sin tener en cuenta las repercusiones que el consumo energético tiene en términos ambientales. Las previsiones de los analistas indican que el precio de los derechos de emisión rondará los 20-30 €/ton en el período 2008-2012, por lo que la mejora de la IE supondrá beneficios económicos adicionales también por este motivo, pero bastante inferiores a los ahorros ligados a la compra de productos energéticos. Además, el consumo energético incurre en otras externalidades ambientales que todavía no están ni cuantificadas ni internalizadas en las decisiones de producción y consumo.

Como se ha visto en el capítulo anterior, la reducción de la IE se produce por cambios estructurales y de la eficiencia energética de los sectores, que se ve afectada a su vez por los cambios tecnológicos y el consumo eficiente. Los cambios estructurales se producen a medida que las economías se desarrollan y se terciarizan por lo que sus efectos no son inmediatos. Existen toda una serie de políticas públicas que influyen en la desmaterialización de las economías, desde la política económica hasta políticas sectoriales. Por su parte, los cambios tecnológicos tendrán efectos sobre la IE a lo largo del tiempo: pequeñas innovaciones en los procesos productivos tendrán efectos a corto plazo, mientras que el desarrollo de nuevas tecnologías renovables llevará su tiempo. Para conseguir estos avances tecnológicos, la política científica de los

---

<sup>12</sup> El IDAE estima que cada tep consumido supone un coste de 480 euros en el Plan de Acción 2008-2012 (IDAE, 2007).

Gobiernos juega un papel clave y, en España, el recientemente aprobado Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 incluye dentro de su cuarta línea estratégica una acción estratégica sobre Energía y Cambio Climático, en el que el objetivo de la eficiencia energética tiene un papel fundamental. Finalmente, se pueden obtener importantes mejoras en la IE de un país si se consigue que las industrias, los comercios y los hogares adopten las mejores tecnologías disponibles. Buena parte de las medidas de los dos Planes de Acción de la Estrategia Española de Eficiencia Energética (E4) van en esta dirección.

El capítulo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica de la metodología de descomposición de índices, puesto que es la que se utiliza con mayor frecuencia en el análisis de la IE. Tras este análisis se elige el método de desagregación más apropiado para el ejercicio a efectuar. En segundo lugar, se delimita el análisis de la IE, se especifican las fuentes estadísticas utilizadas y se comentan los principales ajustes estadísticos realizados. En tercer lugar, se analiza por qué España tiene un comportamiento diferencial con respecto a la UE15. Para ello se comparan las IE sectoriales, se desagregan la IE de España y la UE15 por separado, se analiza el diferencial de IE entre ambos y se identifican los sectores claves que marcan la evolución de la IE en Europa. En cuarto lugar, se analiza la evolución de la IE en España en un período temporal más amplio (1980-2006), tanto en su evolución por sector como en la desagregación del indicador. Además, se realiza un análisis de la influencia de las convenciones internacionales para el sector eléctrico. Por último, se aportan unas conclusiones provisionales, que serán completadas con las conclusiones del capítulo 4.

## **3.2. Metodología de descomposición de índices**

La metodología de descomposición de índices ocupa un lugar destacado en los estudios sobre la IE (véase Ang y Zhang, 2000 para una revisión de los estudios más recientes). Esta metodología permite cuantificar la contribución que cada sector ha tenido en la evolución total del indicador, y el impacto que tiene en la IE el cambio estructural y tecnológico de los sectores.

Una de las principales críticas a la literatura empírica sobre la IE es que los modelos utilizados de forma reducida no han sido capaces de identificar y cuantificar el efecto de variables clave, como los cambios estructurales y tecnológicos que acompañan al crecimiento económico (Ang y Zhang, 2000). Los modelos econométricos permiten estimar cómo ciertas variables (por ejemplo precio de la energía) han afectado de forma transversal a todos los sectores. En contrapartida la descomposición de índices

cuantifica matemáticamente la contribución de cada sector 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 IE 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 apropiadas y la posibilidad de realizar predicciones a largo plazo del indicador.

Desde las crisis energéticas de los setenta se ha producido una intensa investigación sobre las cuestiones energéticas: política energética, economía y gestión, oferta y demanda, etc. Estos estudios han utilizado metodologías y técnicas de otras disciplinas como economía, estadística, investigación operativa e ingeniería de sistemas, aunque muy pocos estudios han tenido impactos en el frente metodológico (Ang et al., 2003). En cambio, el nivel de refinamiento alcanzado con las metodologías que se presentan a continuación ha tenido una influencia “significativa” en el ámbito metodológico por parte de los analistas e investigadores energéticos (Ang et al., 2003).

A finales de los años 80, algunos investigadores se concentraron en la metodología de descomposición de índices, apuntando hacia el paralelismo de la descomposición de la energía industrial y el problema de los números índices en economía. Las fórmulas de descomposición de los primeros investigadores eran bastante sencillas e intuitivas. Medían el impacto del cambio estructural, calculando cómo hubiera sido la IE en un año determinado si las IE sectoriales se hubieran mantenido constantes en el valor del año base. La diferencia entre este valor y la IE observada cuantifica el cambio estructural. De la misma forma, se calculaba el cambio de la intensidad sectorial, manteniendo constante la estructura económica del año base.

A lo largo de la década de los 90 la mayor parte de los estudios se relacionaron con las emisiones de los procesos energéticos debido a la preocupación mundial sobre el medioambiente. En los últimos años con el énfasis creciente en el desarrollo sostenible, su aplicación ha sido extendida al estudio de la desmaterialización y del futuro energético sostenible a nivel de naciones.

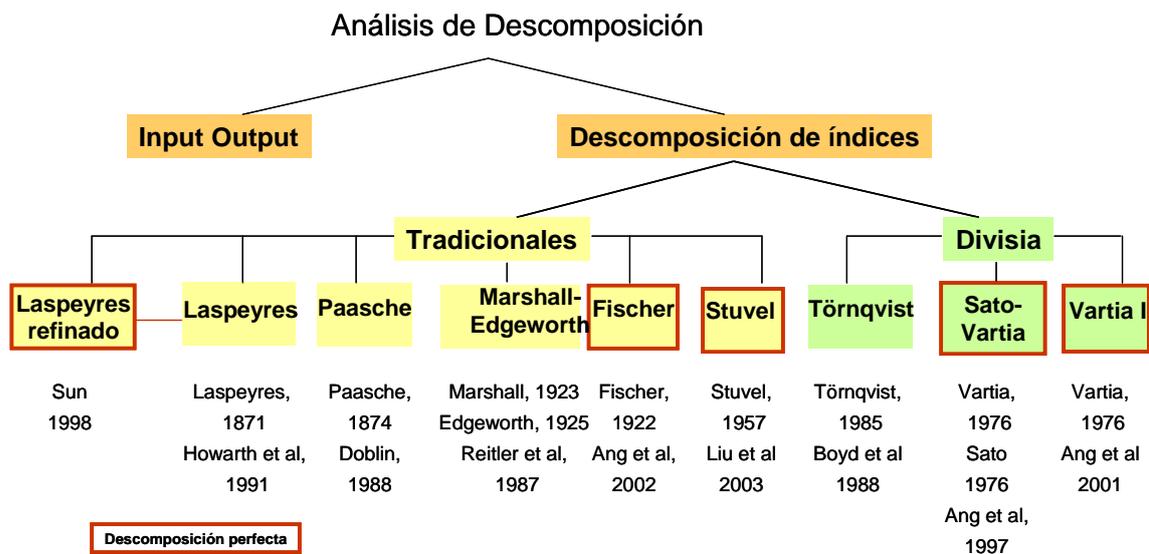
La mayor parte de los estudios realizados hasta 1985 correspondían a la aproximación del índice de Laspeyres. Después el análisis fue evolucionando hacia técnicas más sofisticadas que se podrían agrupar en dos grupos (cuadro 3.1):

- Los métodos de descomposición estructural, que efectúan análisis de descomposición utilizando los datos procedentes de las tablas input-output.

- 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, pero se podrían agrupar en dos grupos principalmente, los métodos tradicionales -Laspeyres, Paasche, Marschall-Edgeworth, Fischer ideal y Stuvell- y los métodos Divisia -Törnqvist, Vartia I, Sato-Vartia. La descomposición se puede hacer de forma aditiva, como resultado de la resta de dos IE y de forma multiplicativa, como cociente de dos IE.

Después de 25 años de aplicación de las técnicas de descomposición no existe consenso entre los investigadores sobre cuál es el mejor método. Los métodos Laspeyres y Divisia son los más utilizados. Los criterios aplicados para la elección de cada uno deben considerar su fundamentación teórica, su aplicabilidad y capacidad de aportar respuestas, su facilidad de utilización para distintos contextos y su facilidad para entender y para presentar resultados.

**Cuadro 3.1. Clasificación de los métodos de descomposición de índices.**



*Fuente: Elaboración propia a partir de Ang (2004) y Liu y Ang (2003).*

En el plano empírico, otras cuestiones como la calidad de las estadísticas, el nivel de desagregación sectorial, la medición de los niveles de actividad o la elección de indicadores pueden afectar a la validez y a la calidad de los resultados al margen del método elegido.

### 3.2.1. Áreas de aplicación

La sencillez y flexibilidad de los análisis de descomposición de índices hacen que su utilización sea más fácil que la descomposición estructural con tablas input-output,

que además adolece de mayores problemas estadísticos por la lentitud en la publicación de las tablas simétricas (nótese que para el caso español se publican las tablas simétricas cada cinco años, siendo las más recientes las del año 2000). Hasta el año 2004 más de 200 estudios publicados (Ang, 2004) han utilizado la descomposición de índices para analizar la demanda y oferta energética, las emisiones energéticas de gases de efecto invernadero, la desmaterialización de las economías, la monitorización de los avances en eficiencia energética y las comparaciones entre países.

La aplicación de los métodos de descomposición para analizar la demanda energética ha sido el área de mayor aplicación, entre ellos destacan el análisis de la IE de los sectores, el impacto de la mezcla de combustibles en la generación de electricidad, los modos de transporte, pero sobre todo la evolución energética de las actividades industriales.

### 3.2.2. Formulación metodológica

En el ejercicio de descomposición se define, en primer lugar, una función que relaciona el agregado a descomponer con una serie de factores predefinidos. En el caso más básico la IE se descompone en dos factores: el efecto estructura y el efecto de intensidad intrasectorial.

A continuación se definen los principales métodos de descomposición. Para ello, se definen las variables que se utilizan para el año  $t$  en el método aditivo y multiplicativo:

$E_t$  = Consumo energético total en el momento temporal  $t$ .

$E_{i,t}$  = Consumo energético en el sector  $i$  en el momento temporal  $t$ .

$Y_t$  = PIB total en el momento temporal  $t$ .

$Y_{it}$  = VAB del sector  $i$  en el momento temporal  $t$ .

$S_{i,t}$  = participación de cada sector  $i$  en el PIB ( $=Y_{it}/Y_t$ ) en el momento temporal  $t$ .

$I_t$  = Intensidad energética agregada ( $=E_t/Y_t$ ) en el momento temporal  $t$ .

$I_{i,t}$  = Intensidad energética de cada sector  $i$  ( $=E_{i,t}/Y_{i,t}$ ) en el momento temporal  $t$ .

$D_{tot}$  = Variación de la intensidad energética en el método multiplicativo ( $=I_T/I_0$ ) entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$D_{str}$  = Efecto estructural en el método multiplicativo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$D_{int}$ = Efecto intrasectorial en el método multiplicativo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$D_{rsd}$ = Residuo en el método multiplicativo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$I_{tot}$ = Variación de la intensidad energética en el método aditivo ( $=I_T-I_0$ ) entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$I_{str}$  = Efecto estructural en el método aditivo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$I_{int}$ = Efecto intrasectorial en el método aditivo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

$I_{rsd}$ = Residuo en el método aditivo entre los momentos temporales  $t=T$  y  $t=0$ .

La energía (E) se suele medir en toneladas equivalentes de petróleo (tep), y el Producto Interior Bruto ( $Y_t$ ) y el Valor Añadido Bruto ( $Y_{it}$ ) de cada sector en euros constantes.

La mayor parte de los estudios no incluyen el sector residencial (excepto en Schäfer, 2005). La intensidad energética se calcula como la suma de los valores sectoriales:

$$I_t = \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \frac{Y_{i,t}}{Y_t} * \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} = \sum_i S_{i,t} I_{i,t} \quad (1)$$

La IE se expresa en términos de la estructura productiva ( $S_{i,t}$ ) y la intensidad sectorial de cada sector ( $I_{i,t}$ ). Suponiendo que la IE varía desde  $I_0$  en el momento temporal 0 hasta  $I_T$  en el momento temporal T, esta variación se puede expresar de dos maneras:  $D_{tot} = I_T / I_0$  o como  $\Delta I_{tot} = I_T - I_0$ . La primera expresión corresponde a la descomposición por el método multiplicativo:

$$D_{tot} = I_T / I_0 = D_{str} D_{int} D_{rsd} \quad (2)$$

La segunda expresión formal es la descomposición aditiva, que se representa como:

$$\Delta I_{tot} = I_T - I_0 = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} + \Delta I_{rsd} \quad (3)$$

A continuación se describen los principales métodos de descomposición.

## **A. MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN TRADICIONALES**

En el caso multiplicativo, a partir de las ecuaciones (1) y (2) se calcula qué parte de la variación de la IE ( $D_{tot}$ ) se debe al efecto estructural y qué parte al efecto intrasectorial. El efecto estructural ( $D_{str}$ ) calcula la variación de la estructura ( $S_{i,T}$  y  $S_{y,0}$ ) manteniendo constante el elemento intrasectorial ( $I_{i,T}$  y  $I_{i,0}$ ). El efecto intrasectorial calcula la variación del elemento intrasectorial manteniendo constante la estructura. Los métodos de descomposición tradicionales ofrecen infinitas posibilidades de cálculo en

función de la importancia que en la descomposición se quiera dar al año inicial 0 o al año final T:

$$D_{str} = \sum_i (\alpha S_{i,TI,0} + \beta S_{i,TI,T}) / \sum_i (\gamma S_{i,0I,0} + \lambda S_{i,0I,T}) \quad (4)$$

$$D_{int} = \sum_i (\alpha S_{i,0I,T} + \beta S_{i,TI,T}) / \sum_i (\gamma S_{i,0I,0} + \lambda S_{i,TI,0}) \quad (5)$$

$$D_{rsd} = D_{tot} / (D_{str} D_{int}) \quad (6)$$

para los que:

$$0 < \beta, \lambda, \alpha, \gamma < 1$$

$$\alpha + \beta = 1 \text{ y } \lambda + \gamma = 1$$

El término residual  $D_{rsd}$  (o  $I_{rsd}$ ) muestra la parte de  $D_{tot}$  (o  $I_{tot}$ ) que no se puede explicar por los otros dos factores. Naturalmente cuanto menor sea el residuo mejor será la estimación.

En el método de Laspeyres  $\alpha = \gamma = 1, \beta = \lambda = 0$ . Este es el más utilizado y además sirve de base para otros métodos (Fischer, Stuvell). La metodología 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 otra variable a lo largo del tiempo. La principal crítica es que al estar basado en el año inicial se puede generar un gran efecto residual que puede desvirtuar el objetivo de la investigación y tiende a subestimar los efectos tecnológico y estructural.

En el método de Paasche  $\alpha = \gamma = 0, \beta = \lambda = 1$ . Este método adolece de los mismos inconvenientes que el anterior, aunque en este caso están provocados por estar basados en el año final. Por eso, al contrario que en el caso anterior, la descomposición basada en el índice Paasche tiende a sobrevalorar los efectos tecnológico y estructural.

En el método de Marshall-Edgeworth  $\alpha = \gamma = \beta = \lambda = 0,5$ . Este método constituye una alternativa a los dos anteriores, ya que asigna la misma importancia al año inicial y final.

## **B. MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN PERFECTA**

Para evitar el residuo y conseguir una descomposición perfecta los investigadores han propuesto varios métodos. Fischer (1922) introdujo un índice que arroja una descomposición perfecta y que se calcula en el método multiplicativo para el efecto estructural como la raíz cuadrada del producto de los efectos estructura de Laspeyres ( $S_L$ ) y Paasche ( $S_P$ ) y para el efecto intrasectorial como la raíz cuadrada del producto de los efectos intrasectoriales de Laspeyres ( $I_L$ ) y Paasche ( $I_P$ ):

$$D_{str} = \sqrt{S_L S_P}$$

$$D_{int} = \sqrt{I_L I_P}$$

y, en el método aditivo como:

$$\Delta I_{str} = \sum_i I_{i,0} \Delta S_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta S_i \Delta I_i \quad \Delta I_{int} = \sum_i S_{i,0} \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta S_i \Delta I_i$$

El método Fischer tiene la ventaja de su descomposición perfecta y es un compromiso entre los índices de Laspeyres y Paasche. Fisher lo calificó como un número índice “ideal” ya que cumplía las propiedades de reciprocidad temporal (“time reversal”) que implica que un número índice calculado a futuro es recíproco a uno calculado hacia el pasado, lo cual significa que  $D_{0,T} = 1/D_{T,0}$ . También cumple la reciprocidad factorial (“factor reversal”) que implica que al multiplicar los componentes descompuestos se obtiene el resultado agregado observado.

Existe una tercera propiedad en los números índices que es la de circularidad, que puede expresarse como  $D_{0,T} = D_{0,S} * D_{S,T}$  en el que S es un momento en el tiempo entre 0 y T. Esto significa que el número índice  $D_{0,T}$  no depende de cómo el indicador evoluciona en el tiempo (entre 0 y T). Esto sólo se cumpliría si los pesos fueran constantes en el tiempo, lo que en la práctica no sucede con ningún número índice (Ang y Zhang, 2000).

Stuvel introdujo en 1957 un nuevo índice que arroja una descomposición perfecta, pero que apenas ha sido utilizado en la literatura económica (Stuvel, 1957; Liu y Ang, 2003). El índice puede utilizar en su formulación el índice de Laspeyres, Paasche o Marshall-Edgeworth, cumple las propiedades de la reciprocidad temporal y factorial y está predeterminado para dar una descomposición perfecta (Angy Zhang, 2000). Su formulación en la variante multiplicativa es la siguiente (se utiliza el caso Laspeyres):

$$D_{str} = (S_L - I_L / 2) + \sqrt{(S_L - I_L / 2)^2 + (I_T / I_0)} \quad D_{int} = (I_L - S_L / 2) + \sqrt{(I_L - S_L / 2)^2 + (I_T / I_0)}$$

Y en el caso aditivo:

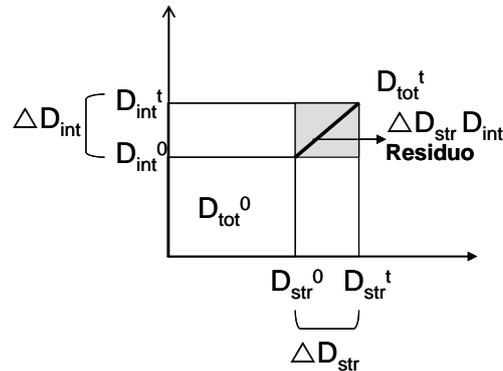
$$\Delta I_{str} = \frac{I_T - I_0}{2} + I_0 \times \frac{S_L - I_L}{2} \quad \Delta I_{int} = \frac{I_T - I_0}{2} + I_0 \times \frac{I_L - S_L}{2}$$

La ventaja del método Stuvel es que se cumplen las propiedades de reciprocidad temporal y factorial en la variación de la IE total y también en la de cada sector, de forma que en cada uno la variación es el resultado del producto del efecto intrasectorial y estructural. El inconveniente es que los efectos sectoriales no guardan relación con el agregado, tal y como lo reconoce su creador al mencionar que, al igual que en el método de Fischer, existe “una falta de consistencia entre el análisis multiplicativo de los cambios de valor de los productos individuales y el agregado” (Stuvel, 1957: 129). Esto es un gran inconveniente a efectos de análisis del indicador, ya que no se puede decir qué parte del efecto estructura se debe a un determinado sector. Además, al igual que los métodos anteriores, la ampliación de las fórmulas a más de dos factores no resulta muy operativa.

### C. MÉTODO LASPEYRES “REFINADO”

Otro de los métodos de descomposición perfecta es el Laspeyres “refinado” que se pueda aplicar a más de dos sectores, y en el que el residuo se reparte entre los dos efectos siguiendo el principio de “conjuntamente creado igualmente distribuido” (Sun, 1998) por lo que arroja una descomposición perfecta. El siguiente cuadro 3.2. ilustra cómo se producen los efectos y cómo se distribuye el residuo.

**Cuadro 3.2. Ilustración de los términos de la descomposición.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Sun, 1998.

La variación de la IE ( $D_{tot}^t - D_{tot}^0$ ) se explica por la variación estructural ( $\Delta D_{str}$ ), por la variación de intensidad intrasectorial ( $\Delta D_{int}$ ) y por la variación ( $\Delta D_{str} \Delta D_{int}$ ) que es el residuo. Este último término en los primeros estudios se omitía o se denominaba “la interacción de efectos”, para el que los investigadores han aportado soluciones para su reparto entre los efectos analizados (Sun, 1998).

El principio de “creado conjuntamente y distribuido igualmente” se explica matemáticamente de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \Delta D_{tot} &= D_{tot}^t - D_{tot}^0 = D_{str}^t D_{int}^t - D_{str}^0 D_{int}^0 \\ &= (D_{str}^t - D_{str}^0) D_{int}^0 + (D_{int}^t - D_{int}^0) D_{str}^0 + (D_{str}^t - D_{str}^0) (D_{int}^t - D_{int}^0) = \\ &= D_{int}^0 \Delta D_{str} + D_{str}^0 \Delta D_{int} + \Delta D_{str} \Delta D_{int} \end{aligned}$$

Cuando la descomposición con el método de Laspeyres “refinado” comprende dos factores equivale a la del método Marshall-Edgeworth. El residuo ( $\Delta D_{str} \Delta D_{int}$ ) se reparte a partes iguales entre el efecto estructura y el efecto intrasectorial, que se ilustra en el cuadro anterior en el espacio sombreado.

Para un modelo de tres factores como  $V = x \cdot y \cdot z$  la contribución de los factores  $x, y$  y  $z$  al cambio total del valor  $V$  viene expresada por las siguientes formulas:

$$X_{efecto} = y^0 z^0 \Delta x + \frac{1}{2} \Delta x \left( \Delta y + y^0 \Delta z \right) + \frac{1}{3} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (7)$$

$$Y_{efecto} = x^0 z^0 \Delta y + \frac{1}{2} \Delta y \left( \Delta x + x^0 \Delta z \right) + \frac{1}{3} \Delta x \Delta y \Delta z \quad 70$$

(8)

(9)

$$Z_{\text{efecto}} = x^0 y^0 \Delta z + \frac{1}{2} \Delta z (x^0 \Delta x + x^0 \Delta y) + \frac{1}{3} \Delta x \Delta y \Delta z$$

por las que se llega a una descomposición perfecta:

$$\Delta V = X_{\text{efecto}} + Y_{\text{efecto}} + Z_{\text{efecto}}$$

o en forma de índice:

$$\frac{\Delta V}{V^0} = \frac{X_{\text{efecto}}}{V^0} + \frac{Y_{\text{efecto}}}{V^0} + \frac{Z_{\text{efecto}}}{V^0}$$

En general, si  $V$  estuviese creado por  $n$  dimensiones de manera que  $V = x_1 x_2 \dots x_n$ , el  $\Delta V$  sería igual a  $n$  términos de primer orden del  $\Delta(\Delta x_i, i=1,2,3,\dots,n) + \frac{n(n-1)}{2}$  términos de segundo orden de  $\Delta(\Delta x_i \Delta x_j, i \neq j) + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}$  términos de tercer orden con  $\Delta(\Delta x_i \Delta x_j \Delta x_\gamma, i \neq j \neq \gamma) + \dots +$  un término  $\frac{n(n-1)(n-2)\dots 2 \times 1}{n!}$  de orden  $n$  de  $\Delta(\Delta x_1 \Delta x_2 \dots \Delta x_{n-1} \Delta x_n)$  (Sun, 1998: 90).

Los primeros  $n$  términos son los efectos de cada uno de los factores  $n$ , mientras que el resto de los términos representan la interacción relativa de los factores. Según el principio de “creados conjuntamente y distribuidos igualmente” estos efectos se pueden dividir en cada uno de los efectos relativos y la suma de todos ellos arroja una descomposición perfecta. Así para el factor  $i$ ,

$$X_{i \text{ efecto}} = \frac{V^0}{x_i^0} \Delta x_i + \sum_{j \neq i} \frac{V^0}{2x_i^0 x_j^0} \Delta x_i \Delta x_j + \sum_{j \neq i \neq \gamma} \frac{V^0}{3x_i^0 x_j^0 x_\gamma^0} \Delta x_i \Delta x_j \Delta x_\gamma + \dots + \frac{1}{n} \Delta x_1 \Delta x_2 \dots \Delta x_n$$

El método Laspeyres refinado tiene dos inconvenientes. El primero es que repartir el residuo “a partes iguales” puede otorgar a uno de los efectos una parte del residuo que no le corresponde, puesto que puede que la variación de los otros efectos haya sido mayor. El segundo es que su aplicación a varios factores resulta bastante laboriosa y complicada.

Las principales ventajas son que se puede aplicar a la descomposición de matrices y es un método de descomposición perfecta.

#### **D. MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN DIVISIA**

Los métodos de descomposición paramétrica Divisia han sido los más utilizados en los últimos años, ya que aportan una descomposición con un menor residuo en sus primeros modelos y una descomposición perfecta en los más elaborados.

A continuación se describe el primero de los métodos utilizados, el Divisia con media aritmética, también denominado como la fórmula Törnqvist, que fue introducido por primera vez por Boyd et al., (1988) y ha sido extensamente utilizado desde entonces.

Törnqvist et al. (1985) introdujeron la variación logarítmica en el cálculo de los números índices, con la particularidad de que consigue un índice nuevo simétrico y aditivo, al contrario que los porcentajes ordinarios que son asimétricos y no aditivos.

Para comprender esta afirmación, utiliza el siguiente ejemplo. Si el consumo energético de un sector pasa de 5 unidades en el año 0 a 10 unidades en el año  $t$ , su diferencia relativa calculada como porcentaje depende de qué año se utilice en la comparación. Así el consumo energético del año  $t$  es un 100% superior al del año 0, pero el consumo energético en el año 0 es un 50% menor que el del año  $t$ , lo cual es asimétrico. Sin embargo, en el caso del logaritmo,  $\ln(10/5) = 0,693$  y  $\ln(5/10) = -0,693$  son valores simétricos. La propiedad aditiva implica que  $\ln(D_{tot}) = \ln(D_{str}) + \ln(D_{int})$  lo cual puede ser muy útil para separar y analizar los efectos de la desagregación.

Para la aplicación de este método a la IE se parte de la ecuación (1):

$$I_t = \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \frac{E_t}{Y_{i,t}} = \sum_i S_{i,t} I_{i,t}$$

y se aplica el logaritmo en primer lugar y luego su derivada:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \ln I_t &= \frac{1}{\sum_i S_{i,t} I_{i,t}} \frac{d}{dt} \left( \sum_i S_{i,t} I_{i,t} \right) = \frac{1}{I_t} \sum_i \left[ \left( \frac{d}{dt} S_{i,t} \right) I_{i,t} + \left( \frac{d}{dt} I_{i,t} \right) S_{i,t} \right] \\ &= \sum_i \left[ \left( \frac{d}{dt} S_{i,t} \right) \frac{I_{i,t}}{I_t} + \left( \frac{d}{dt} I_{i,t} \right) \frac{S_{i,t}}{I_t} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

teniendo en cuenta que:

$$\frac{d}{dt} \ln(f(t)) = \frac{1}{f(t)} \frac{d}{dt} f(t)$$

$$\frac{d}{dt} \sum_i f(t) = \sum_i \frac{d}{dt} f(t)$$

$$\frac{d}{dt}(f(t)g(t)) = \left(\frac{d}{dt}f(t)\right)g(t) + \left(\frac{d}{dt}(g(t))\right)f(t)$$

Si se realizan unos ajustes en la ecuación (10) teniendo en cuenta que:

$$\frac{d}{dt}\ln(S_{i,t}) = \frac{1}{S_{i,t}}\left(\frac{d}{dt}S_{i,t}\right)$$

entonces,

$$\frac{d}{dt}S_{i,t} = \left(\frac{d}{dt}\ln(S_{i,t})\right)S_{i,t} \quad (\text{a})$$

y de igual manera,

$$\frac{d}{dt}I_{i,t} = \left(\frac{d}{dt}\ln(I_{i,t})\right)I_{i,t} \quad (\text{b})$$

Por lo que, introduciendo los términos (a) y (b) en la ecuación (10) se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\ln I_t &= \sum_i \left[ \left(\frac{d}{dt}\ln(S_{i,t})\right)\left(\frac{S_{i,t}I_{i,t}}{I_t}\right) + \left(\frac{d}{dt}\ln(I_{i,t})\right)\left(\frac{S_{i,t}I_{i,t}}{I_t}\right) \right] \\ &= \sum_i \frac{S_{i,t}I_{i,t}}{I_t} \left[ \left(\frac{d}{dt}\ln(S_{i,t})\right) + \left(\frac{d}{dt}\ln(I_{i,t})\right) \right] \end{aligned} \quad (\text{11})$$

El primer término equivale a la participación de la energía del sector  $i$  en el momento  $t$  ( $E_{it}$ ) sobre el total de la energía ( $E_T$ ) que se denominar a partir de ahora  $W_i$ ,

$$\frac{S_{i,t}I_{i,t}}{I_t} = \frac{Y_t}{E_t} \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} = \frac{E_{i,t}}{E_t} = W_i$$

De manera que la ecuación (11) equivale a la siguiente expresión:

$$\frac{d}{dt}\ln I_t = \sum_i W_i \left[ \frac{d}{dt}\ln(S_{i,t}) + \frac{d}{dt}\ln(I_{i,t}) \right] \quad (\text{12})$$

Si se calcula la integral entre  $0$  y  $T$  se tiene que:

$$\int_0^T \frac{d}{dt}\ln(I_t)dt = \ln(I_T) - \ln(I_0) = \ln(I_T / I_0)$$

$$\ln(I_T/I_0) = \int_0^T \sum W_i \left[ \frac{d}{dt}\ln(S_{i,t}) + \frac{d}{dt}\ln(I_{i,t}) \right]$$

y como,

$$\sum_i x_i + g_i = \sum_i x_i + \sum_i g_i$$

entonces,

$$\ln(I_T / I_0) = \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) + \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \quad (13)$$

Finalmente, para calcular la variación de la IE entre los dos momentos 0 y t se calculan la exponencial de los dos lados de la ecuación (13):

$$\exp(\ln(I_T / I_0)) = \exp \left[ \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) + \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right]$$

Como  $\exp(a+b)=\exp(a)\exp(b)$ , se puede transformar la ecuación anterior en la siguiente expresión:

$$I_T / I_0 = \exp \left[ \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right] \exp \left[ \int_0^T \sum_i W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right] \quad (14)$$

Así, la variación de la IE se explica por el efecto estructura ( $D_{str}$ ), que es el primer término de la ecuación (14), y por el efecto de la intensidad sectorial ( $D_{int}$ ), que es el segundo término.

Los datos de la ecuación de la IE son discretos y anuales. Como sucede con los otros métodos de descomposición descritos, la clave está en el peso que se otorgue al año 0 y t. El método de Törnqvist calcula  $W_i$  con una aproximación aritmética:

$$W_i' = \frac{1}{2} (W_{i,t} + W_{i,0}) \quad (15)$$

por lo que el efecto estructural ( $D_{str}$ ) se calcula como:

$$D_{str} = \exp \left[ \sum_i W_i' \int_0^T \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) dt \right] = \exp \left[ \sum_i W_i' \ln \left( \frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right) \right] \quad (16)$$

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

y de la misma manera el efecto intensidad sectorial ( $D_{int}$ ) se mide como:

$$D_{\text{int}} = \exp \left[ \sum_i W_i' \ln(I_{i,T} / I_{i,0}) \right] \quad (17)$$

Como  $D_{\text{tot}} = D_{\text{str}} D_{\text{int}} D_{\text{rsd}}$  el residuo se calcula como  $D_{\text{rsd}} = D_{\text{tot}} / (D_{\text{str}} D_{\text{int}})$ .

El método de Törnqvist tiene la ventaja de reducir el residuo y de que resulta muy fácil la ampliación de nuevos factores en la función explicativa. Sus principales inconvenientes son que no es perfecto, que no cumple el test de reciprocidad de factores y que es un método no aplicable cuando en la serie de datos existen valores cero<sup>13</sup>.

A partir de este método los investigadores han buscado conseguir un método que arroje una descomposición perfecta y que resuelva estas deficiencias cambiando la aproximación para el cálculo de la variable  $W_i'$ . Entre ellos destacan dos que aplican la media logarítmica a ese valor denominados LMDI (en sus siglas en inglés, *Logarithmic Mean Divisia Index*). El método Sato-Vartia utiliza el número índice introducido por estos dos autores (Sato, 1974; Vartia, 1976) adaptado en su versión multiplicativa para obtener una descomposición perfecta y denominado LMDI II (Ang y Choi, 1997). Así, en esta descomposición  $W_i'$  es la media logarítmica del porcentaje de la energía de cada sector sobre el total en el momento temporal  $0$  y  $t$  dividida por el sumatorio de la media logarítmica del numerador:

$$W_i' = \frac{L(E_{iT} / E_T, E_{i,0} / E_0)}{\sum_i L(E_{iT} / E_T, E_{i,0} / E_0)} \quad (18)$$

siendo la media logarítmica de dos números positivos  $x$  e  $y$  definida como:

$$L(x, y) = (y - x) / \ln(y / x)$$

Este método cumple además las propiedades de reciprocidad temporal y factorial antes descritos, por lo que ha sido el preferido de algunos investigadores.

El método LMDI I (o Vartia I) toma para el valor  $W_i'$  la media logarítmica de la variación de las intensidades sectoriales dividido por la variación de la media logarítmica de la intensidad total en los dos momentos elegidos para hacer la aproximación (Ang y Liu, 2001).

$$W_i' = \frac{L(E_{iT} / Y_T, E_{i,0} / Y_0)}{L(E_T / Y_T, E_0 / Y_0)} \quad (19)$$

<sup>13</sup> Esto sucede por la imposibilidad de calcular el logaritmo de cero, aunque se puede resolver asignándole un valor positivo muy reducido (Ang y Liu, 2005).

El método LMDI I tiene además de su fundamento teórico varias ventajas prácticas para su aplicación (Ang et al., 2003; Ang, 2005), que lo hacen preferible frente a otros métodos:

1. El resultado no arroja un término residual, es perfecto, y cumple las propiedades de reciprocidad temporal y factorial.
2. Los resultados del cálculo multiplicativo tienen la propiedad aditiva por la que  $\ln(D_{tot}) = \ln(D_{x1}) + \ln(D_{x2}) + \dots + \ln(D_{xn})$ .
3. Existe una relación sencilla entre la descomposición aditiva ( $\Delta I_{tot}$ ) y la multiplicativa ( $D_{tot}$ ) por lo que  $\Delta I_{tot} / \ln(D_{tot}) = \Delta I_{xk} / \ln(D_{xk})$ , en el que  $x$  representa el efecto (i.e. estructural) y  $k$  el sector, lo cual convierte en innecesario realizar la descomposición en los dos métodos, ya que uno se deriva del otro.
4. Los resultados del método LMDI I 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. Así, por ejemplo la descomposición de todos los sectores industriales arroja los mismos efectos que si se utiliza el agregado de la industria.
5. 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.

En el siguiente cuadro se resume la formulación del método LMDI I en su versión multiplicativa y aditiva.

**Cuadro 3.3. Formulación de la metodología LMDI I.**

<p>Si asumimos que <math>V</math> es un agregado, hay factores, <math>V = \sum_i x_{1,i}x_{2,i} \dots x_{n,i}</math> y <math>V_i = x_{1,i}x_{2,i} \dots x_{n,i}</math>, donde el subíndice <math>i</math> denota un atributo del agregado como puede ser un sector económico, un tipo de combustible, etc. El agregado cambia entre el momento temporal 0 y T desde <math>V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0</math> hasta <math>V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T</math>. Entonces se obtiene la siguiente formulación de descomposición perfecta:</p>	
<b>MULTIPLICATIVA</b>	<b>ADITIVA</b>
$D = V^T / V^0 = D_{x1} D_{x2} \dots D_{xn}$	$\Delta V = V^T - V^0 = \Delta V_{x1} + \Delta V_{x2} + \dots + \Delta V_{xn}$
$D_{xk} = \exp \left( \sum_i \frac{L(V_i^T, V_i^0)}{L(V^T, V^0)} \ln \left( \frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \right)$	$\Delta V_{xk} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0) \ln \left( \frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right)$

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

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

Fuente: Elaboración propia a partir de Ang et al., 2003.

### 3.2.3. Elección del método de desagregación

A continuación se presenta un ejemplo de desagregación de la IE en dos factores para explicar la elección de la metodología más adecuada. Se muestra en la tabla 3.1 la desagregación de la IE de los sectores finales con el método multiplicativo para el período 1980-2004 distinguiendo los efectos estructural ( $D_{str}$ ), intrasectorial ( $D_{int}$ ) y residual ( $D_{rsd}$ ). Cuando el residuo es igual a 1 la descomposición es perfecta. Los métodos Törnqvist, Laspeyres, Paasche y Marshall-Edgeworth dejan residuos. En el caso del método de Laspeyres se infravaloran los efectos estructurales y de IE intrasectorial, mientras que el de Paasche sobrevalora ambos efectos.

**Tabla 3.1: Ejemplo de desagregación en dos factores.**

	Laspeyres	Paasche	Marshall-Edgeworth	Fisher	Stuvel	Sun	Törnqvist	LMDI II	LMDI I
<b>Dstr</b>	0,9542	0,9670	0,9610	0,9606	0,9611	0,9606	0,9605	0,9605	0,9609
<b>Dint</b>	1,1320	1,1472	1,1394	1,1396	1,1389	1,1396	1,1402	1,1397	1,1392
<b>DrSD</b>	1,0134	0,9868	0,9997	1,0000	1,0000	1,0000	0,9995	1,0000	1,0000
<b>Dtot</b>	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946	1,0946

Datos para desagregación de la intensidad energética (1980-2004)								
	Ei0	Yi0	Si0	Ii0	EiT	YiT	SiT	IiT
Energía	19.004	12.592	0,045	1,509	38.724	20.159	0,038	1,921
Agricultura	2.358	15.738	0,056	0,150	3.368	20.950	0,039	0,161
Industria	18.923	83.618	0,299	0,226	29.600	146.905	0,275	0,201
Transporte	17.722	15.142	0,054	1,170	41.253	33.436	0,063	1,234
Terciario	2.187	152.522	0,545	0,014	7.959	312.818	0,586	0,025
Residencial	3.728	279.612	1,0000	0,013	12.520	534.268	1,000	0,023
<b>Total</b>	<b>63.922</b>	<b>279.612</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,229</b>	<b>133.424</b>	<b>534.268</b>	<b>1,000</b>	<b>0,250</b>

Nota: En el apartado 3.3.2 se describen los sectores incluidos en la desagregación.

Fuente: Elaboración propia

La descomposición con el índice de Stuvel y Fischer es perfecta, aunque su formulación no es operativa cuando se amplía el análisis a más de dos factores. Los métodos Sun, LMDI II y LMDI I muestran resultados similares y arrojan una descomposición perfecta. Cualquiera de estos tres métodos podría ser adecuado para desagregar la IE con ciertos matices.

El método Laspeyres refinado (o Sun) es más intuitivo y el LMDI I y LMDI II son más científicos. Estos dos últimos son preferibles porque como se ha comentado antes el

principio de “conjuntamente creado, igualmente distribuido” no es óptimo, ya que puede que el efecto residual esté creado en mayor medida por uno de los factores explicativos. No obstante si se quiere realizar la desagregación sobre matrices no se pueden aplicar los métodos Divisia y el método de Sun es el más apropiado.

Finalmente, el método LMDI I tiene como ventaja adicional sobre el método LMDI II la propiedad de consistencia en agregación (Ang, 2003), que puede ser muy útil para una descomposición más desagregada. Una fórmula de descomposición es consistente en agregación si el valor del índice calculado en dos o más etapas (por ejemplo desde un nivel subsectorial hasta un nivel sectorial y desde este nivel sectorial a un nivel nacional) coincide con el valor del índice calculado utilizando sólo una etapa (desde un nivel subsectorial hasta un nivel nacional). A la vista de todo lo anteriormente expuesto se decide utilizar el método LMDI I.

Para la elección de la función explicativa que se quiere desagregar, la mayor parte de los estudios se han enfocado en la IE final, y más específicamente en los sectores industriales, tal y como se ha mostrado en la ecuación (1). Esto deja un amplio porcentaje de la IE de los países sin explicar, puesto que el consumo energético de estos sectores apenas supone el 20% o 30% del total. Algunos autores amplían el estudio a todos los sectores productivos (esto es, aquellos que generan VAB), pero excluyen el sector energético, lo cual nuevamente deja sin explicar una parte muy importante de la IE de los países. Otra deficiencia es que los balances energéticos no distinguen en el consumo energético del transporte la parte que se destina al sector privado (transporte privado) y no genera VAB. Finalmente, prácticamente ningún estudio incluye el sector residencial. Esta es una omisión muy significativa puesto que su consumo energético puede llegar a ser del 30% del total. Además, existen grandes diferencias entre los países en el consumo energético residencial ligadas a la temperatura y a la renta per cápita.

Por todo ello, en esta tesis se analiza la evolución de la IE total incluyendo todos los sectores económicos y el sector residencial, en el que se añade el transporte privado para el caso español. La función explicativa es:

$$IE = \frac{E_T}{Y_T} = \sum \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \frac{Y_{i,t}}{Y_T} + \frac{E_R}{Y_T} \quad (20)$$

donde la IE se descompone en función de la IE ( $E_{i,t}/Y_{i,t}$ ) de los sectores  $i$  (agricultura, industria, servicios y transporte), y los correspondientes subsectores, la participación de cada sector en la economía ( $Y_{i,t}/Y_T$ ) o, lo que es lo mismo, el efecto estructural y 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. La incorporación del sector energético y, en el caso español, del transporte privado

separado del de mercancías, que es una aportación significativa para la comprensión de la IE.

Se propone realizar la desagregación para el caso español y de los países de la UE15, para poder responder a uno de los objetivos de esta tesis, que es explicar por qué la IE en España crece mientras que decrece en el resto de la UE15. Hasta donde la autora conoce este ejercicio no se ha realizado nunca. Tan sólo Schäfer (2005) introduce el sector residencial para siete grandes regiones del mundo, aunque realiza la desagregación para la IE final y no es una descomposición perfecta porque utiliza el método Törnqvist.

Si se aplica el método LMDI I descrito anteriormente se obtendría que la IE total ( $D_{tot}$ ) se explica por un efecto estructural ( $D_{str}$ ), un efecto intrasectorial ( $D_{int}$ ) y un efecto residencial ( $D_{resid}$ ). Como es una descomposición perfecta no hay un efecto residual.

$$D_{tot} \cong D_{str} * D_{int} * D_{resid}$$

A los efectos antes descritos ( $D_{str}$  y  $D_{int}$ ) se añade el del sector residencial ( $D_{resid}$ ):

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

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

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

Para el factor  $W_i'$  se opta por el propuesto en el método LMDI I y que para el caso residencial  $E_i$  es igual a  $E_R$ .

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

Al utilizar este método se puede pasar de la descomposición multiplicativa a la aditiva fácilmente, lo que permite representar gráficamente y de forma intuitiva los resultados.

En la tabla 3.2 se muestra la desagregación completa de la ecuación (20) (incluyendo esta vez el sector energético y residencial) en los tres métodos Divisia para el período entre 1980 y 2004 en España.

**Tabla 3.2: Ejemplo de desagregación en tres factores.**

Método	Multiplicativo			Aditivo
	Törnqvist	LMDI II	LMDI I	LMDI I
<b>Dstr</b>	<b>0,962</b>	<b>0,962</b>	<b>0,962</b>	<b>-9,302</b>
Energía	0,949	0,949	0,949	-12,419
Agricultura	0,989	0,989	0,989	-2,644
Industria	0,978	0,979	0,979	-5,150
Transporte	1,043	1,043	1,043	10,134
Terciario	1,003	1,003	1,003	0,778
<b>Dint</b>	<b>1,089</b>	<b>1,089</b>	<b>1,089</b>	<b>20,322</b>
Energía	1,073	1,074	1,073	16,934
Agricultura	1,002	1,002	1,002	0,515
Industria	0,970	0,970	0,971	-7,123
Transporte	1,016	1,016	1,016	3,698
Terciario	1,027	1,027	1,027	6,298
<b>Dresidencial</b>	<b>1,044</b>	<b>1,043</b>	<b>1,043</b>	<b>10,102</b>
<b>Drasd</b>	<b>0,999</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>0,000</b>
<b>Dtot</b>	<b>1,092</b>	<b>1,092</b>	<b>1,092</b>	<b>21,123</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados en el método multiplicativo se leen de la siguiente forma:

- La variación de la IE es el resultado de multiplicar los tres efectos que se muestran en la tabla 3.2. Así, el efecto estructural total ( $D_{str}$ ) es el resultado de multiplicar el efecto estructural del sector energético, agrícola, industrial, transporte y servicios y lo mismo sucede con el efecto de intensidad intrasectorial ( $D_{int}$ ).
- La variación total de la IE ( $D_{tot}$ ) es el resultado de multiplicar el efecto intrasectorial total por el efecto estructura total y por el efecto residencial ( $D_{resid}$ ).
- Finalmente, la variación de la IE también se puede interpretar como la multiplicación de los efectos intrasectoriales y estructurales de todos los sectores y el efecto residencial. En este punto es necesario aclarar que la IE de cada sector no se explica por el producto de su efecto estructural e intrasectorial, ya que estos efectos se calculan con relación al total.

Para facilitar la comprensión de los resultados de la desagregación por el método multiplicativo se transforman en aditivo, tal y como se ha descrito en el apartado anterior y se muestra en la última columna. De esta forma, el incremento de 21 tep de la IE en el período se desagrega en la reducción de 9 tep por el efecto estructural y el incremento de 20 tep por el efecto intrasectorial y 10 tep por el efecto residencial.

## 3.3. La evolución de la intensidad energética

### 3.3.1. Delimitación del análisis

La revisión bibliográfica ha puesto de manifiesto que los modelos de desagregación de índices son una metodología flexible y útil para abordar el estudio de la IE. En este apartado, antes de entrar en la valoración de los resultados se describe a grandes rasgos la problemática de la IE en España. Después se realiza una descripción de las fuentes de datos utilizados y de los ajustes realizados para conseguir en la medida de lo posible una mayor desagregación. En este análisis se incluye el sector transformación, pero es necesario hacer unas matizaciones para su comprensión. Con estos datos se aplica el modelo LMDI I descrito y se analizan los resultados de la desagregación de la IE total en España cuantificando el efecto estructural, intrasectorial y residencial. Para ello se cuenta con datos de consumo energético y VAB de 15 sectores productivos

Hasta donde la autora conoce no se ha aplicado la descomposición de índices para evaluar la IE de todos estos sectores. Con frecuencia los estudios sobre la IE se centran en la industria (Ansuategi y Arto, 2003 y Marrero y Ramos-Real, 2008). El principal inconveniente de esos estudios es que al omitir una parte importante del consumo energético y de VAB, los cambios estructurales suelen ser mínimos, y se refieren tan sólo a los cambios estructurales dentro de la industria, no de la economía, y la evolución suele estar marcada por la IE de las ramas sectoriales consideradas.

El consumo de energía y el crecimiento económico de los países han estado correlacionados a lo largo de la historia económica reciente, pero en los años 70 se empezó a observar cierto desacoplamiento de ambas tendencias. Sin embargo, los datos muestran que España no ha seguido la misma evolución, por lo que necesita cada vez más energía para la creación de valor añadido, como puede verse en el gráfico 3.1. Tal y como se ha visto en el capítulo anterior, se supone que en las primeras fases del crecimiento económico la IE crece acentuadamente hasta llegar a un punto de inflexión, a partir del cual la IE se reduce. Lo que muestra el gráfico 3.1 es que los países mediterráneos no han alcanzado ese punto.

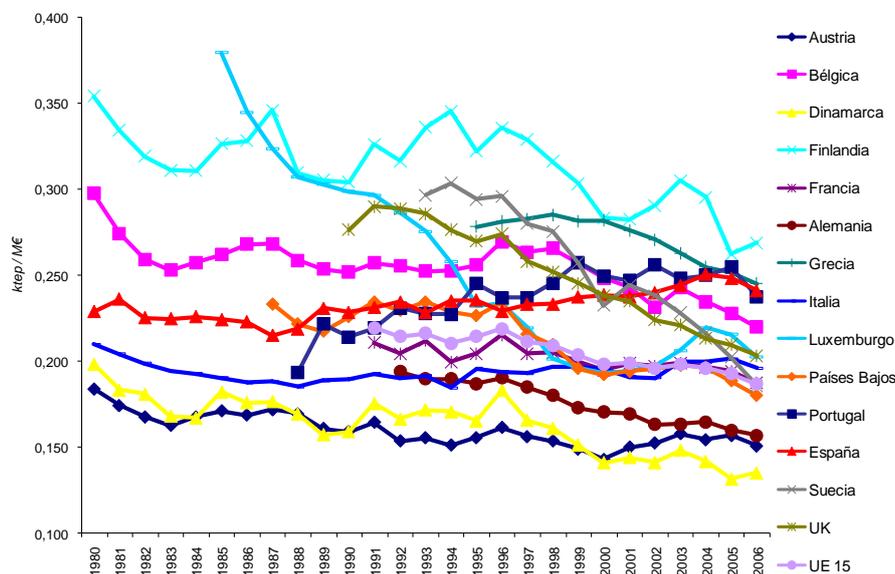
Se considera el año 1980 como punto de partida de este análisis<sup>14</sup>, año en el que se promulga la Ley 82/80 sobre Energía y Conservación que marca el inicio de las políticas gubernamentales de lucha por la eficiencia y la diversificación en España. Los últimos

---

<sup>14</sup> Según el Observatorio de Sostenibilidad en España ([www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)) la fiabilidad de los datos en años anteriores es menor, ya que a partir de entonces se utiliza un uso masivo de agregación sucesiva de datos y un tratamiento estadístico del mismo más sofisticado.

datos disponibles para todos los países en el momento de redacción de esta tesis doctoral son los de 2006.

**Gráfico 3.1. La intensidad energética en Europa (ktep/ M€ 95).**



Fuente: Elaboración propia.

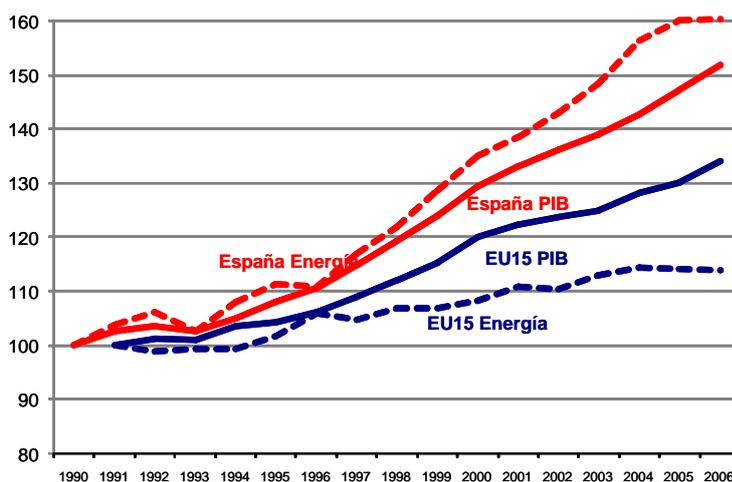
En este período la IE en España experimenta dos tendencias distintas: comienza con una ligera reducción en los años 80 y a partir de los 90 experimenta una fase de crecimiento que supera las mejoras alcanzadas en la década anterior, mientras que en el resto de países europeos las reducciones han sido más pronunciadas en el primer período y continuadas en el segundo. Se debe destacar que España, Grecia y Portugal se sitúan en la franja alta del indicador, aunque si se analiza el PIB ajustado a la paridad de poder de compra su PIB aumenta y la IE se reduce, como se verá más adelante.

Como se puede ver en el gráfico 3.2, así como en la UE15 se produce cierto desacoplamiento relativo entre el consumo energético y el crecimiento económico, en España ambas variables siguen la misma tendencia, incluso se produce en la década de los 90 una rematerialización.

Tanto el Gobierno como numerosos agentes sociales han dado la voz de alarma ante el crecimiento tan elevado del consumo de energía primaria en España, lo que refleja la falta de sostenibilidad del modelo de desarrollo energético actual y la urgencia en tomar medidas basadas en la gestión de la demanda (Pérez-Arriaga et al., 2005). En este sentido los sucesivos Gobiernos de España han desarrollado una Estrategia de Eficiencia Energética (E4) (Ministerio de Economía, 2003), el Plan de Acción 2005-2007 (MITyC, 2005) y el Plan de Acción 2008-2012 (MITyC, 2007) que analiza cada sector pormenorizadamente, detallando qué medidas se pueden aplicar a cada sector para

mejorar la eficiencia energética y cumplir con los ambiciosos objetivos planteados. Sin embargo, no explica cuál es la incidencia de cada sector desde el punto de vista económico-energético en la IE, esto es, no analiza su contribución estructural, por lo que se puede dar la paradoja de que un sector sea muy eficiente pero que impulse al alza la IE. Por ejemplo, si la siderurgia aumenta tanto que el incremento de energía utilizada es superior al ahorro de las mejoras de eficiencia, impulsará al alza la IE total.

**Gráfico 3.2. Desacoplamiento del consumo energético\*.**



\* Para España 1990=100, para la UE15 1991=100 puesto que no se publican datos de PIB anteriores.

Fuente: Elaboración propia.

La incorporación del sector energético en el análisis de la IE es importante porque es uno de los principales consumidores de energía primaria, porque una parte importante de la mejora de la eficiencia de los sectores (industrial fundamentalmente) se debe a la sustitución de combustibles fósiles por electricidad (mejora de la IE sectorial industrial a costa del empeoramiento de la IE del sector eléctrico) y porque es un sector que ha tenido que abastecer fuertes crecimientos de demanda. Como se ha comentado casi ningún estudio de desagregación de la IE lo incluye y suelen mostrar la evolución de la IE final (que no incluye los sectores transformadores de energía). Su omisión dejaría un 30% del consumo energético sin explicar.

Por otro lado, la inclusión en el análisis de la IE de las familias responde a dos motivos: el primero, que para algunos países europeos su consumo energético puede superar el 30% del total; el segundo, que el transporte privado es uno de los vectores de crecimiento más importante del consumo energético total y de las emisiones.

La labor de análisis de la IE se enfrenta por un lado a unas deficiencias estadísticas que dificultan su entendimiento y, por otro, a unos indicadores que agregan sectores muy dispares de la economía. Por eso, resulta necesario descomponer el indicador en los diferentes sectores hasta el máximo nivel de desagregación posible para poder identificar en su evolución qué parte se debe a la variación en la actividad económica y

las alteraciones que ésta produce en la estructura económica de un país y, por otro lado, cómo han evolucionado las necesidades energéticas de los sectores y su eficiencia energética.

Para poder identificar las razones que explican el comportamiento diferencial español se realizará este análisis para España y para los países de la UE15<sup>15</sup>, dado que poseen un grado de desarrollo económico similar y están sujetos a similares objetivos en materia energética y ambiental, aunque todavía existen amplias diferencias en la regulación y en la realidad energética de estos países.

### **3.3.2. Descripción de las fuentes estadísticas utilizadas**

La información contenida en esta base de datos es fruto de una compleja selección y armonización de los datos disponibles, así como de la subsanación de las lagunas existentes en las fuentes originarias, lo que permite obtener finalmente una perspectiva comparada de la IE comunitaria para el período 1980-2006.

#### **A. CONSUMO ENERGÉTICO**

Para todos los países Europeos el consumo energético de los sectores viene de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a). Para el caso español se cuenta además con las estadísticas más desagregadas proporcionadas por el Servicio de Estudios del IDAE (IDAE, 2006a) para el transporte privado.

En este capítulo se analiza la IE total frente a otros estudios que analizan la IE final. La diferencia es que en la IE total se incluye todos los consumos energéticos de la economía excepto los consumos no energéticos.<sup>16</sup> Esto significa que se incluye el consumo energético de los sectores transformadores (que se denomina “Energía”), de los sectores industriales, del transporte, de los sectores de servicios y del sector residencial (tabla 3.3). La IE final no incluye los sectores transformadores, omitiendo el análisis el 30% del consumo energético español. En esta cifra se produce una incidencia contable por las convenciones internacionales adoptadas para la contabilización de los consumos primarios de algunas fuentes energéticas (véase apartado 3.5.3).

En el sector de transformación se incluye el consumo energético del sector eléctrico (79% del total), refinerías (17%) y otros procesos energéticos (incluyendo aquí la

---

<sup>15</sup> EUROSTAT no publica sus datos de PIB desagregados para Irlanda, pero sí los estima en las cifras de la UE15.

<sup>16</sup> Su exclusión

ión es común en los estudios sobre la intensidad energética. Dentro de estos consumos se incluye por ejemplo la utilización de productos derivados de petróleo para la producción de plásticos.

minería energética). Los consumos propios y las pérdidas de transformación y de distribución y transporte están incluidos en esta categoría.

En el caso del transporte, los sectores utilizan el transporte (tanto por cuenta propia como por cuenta ajena) para mover mercancías o personas. Pero el consumo energético se clasifica en los balances energéticos bajo las categorías de carretera, ferrocarril, aviación nacional e internacional, oleoducto, marítimo y otros. Uno de los principales problemas de las estadísticas del transporte es que no ofrecen una división entre el consumo del transporte privado y de mercancías y viajeros. Por ello, en el análisis de la IE en Europa incluimos en el transporte estos dos consumos, lo que conlleva una sobrevaloración del incremento del indicador sectorial, ya que el transporte privado no genera VAB. En el caso español se dispone de las estadísticas proporcionadas por el IDAE, lo cual permite analizar separadamente los dos sectores.

En la tabla 3.3 se muestran las categorías ajustadas para el análisis de la IE total tanto en el consumo energético (balances energéticos de la IEA) y en la contabilidad nacional

Esta clasificación tiene limitaciones, que surgen del hecho de que el desglose publicado en los balances energéticos tiene una desagregación menor que la contabilidad nacional, por lo que a veces se puede confundir cualquier cambio en la IE sectorial como una mejora de eficiencia, cuando puede ser debido a un cambio estructural dentro de las actividades realizadas en un sector determinado. Por ejemplo, la rama de actividad del “Papel” (ISIC, DE) engloba dos áreas muy diferentes: la “Industria de Papel” (ISIC 21) y el sector de “Edición, Artes Gráficas y Reproducción de Soportes Grabados” (ISIC 22). Ambas industrias se dividen sucesivamente hasta un nivel de cinco dígitos. Sin embargo en los balances energéticos sólo existe una categoría para la industria del papel y las artes gráficas.

**Tabla 3.3. Balances energéticos y contabilidad nacional.**

Balances IEA		Contabilidad Nacional	INDICADOR		
CONSUMO ENERGÉTICO		PIB	IE		
		IVA, impuesto importaciones y otros impuestos			
<b>CONSUMO TRANSFORMACIÓN</b>	<b>SECTOR ENERGÉTICO</b>	Central eléctrica Ciclo Combinado Central de calor Gas ciudad Pérdidas de distribución	e Energía eléctrica, gas y agua	<b>Energía</b>	
		Refinerías de petróleo Transformación de carbón Licuefacción Otros Sect. de transformación Consumos propios Transferencias Diferencias estadísticas	df Coquerías, refino y combustibles nucleares  ca Minería y extracción energía		
<b>TFC: CONSUMO FINAL</b>	<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>	Siderurgia Metales no féreos	dj Metalurgia y productos metálicos	<b>Metales básicos</b>	
		Químico Inc. Materias primas	dg Industria química dh Industria del caucho y materias plásticas --Excluido del análisis	<b>Química</b>	
		Minerales no metálicos	di Otros productos minerales no metálicos	<b>Minerales no metálicos</b>	
		Equipos de transporte Maquinaria	dm Manufacture of transport equipment dk Maquinaria y equipo mecánico dl Equipo eléctrico, electrónico y óptico	<b>Material Transporte</b>	
		Extracción y minería	cb Extracción y Minería	<b>Minería</b>	
		Alimentación y tabaco Papel, pasta e impresión Madera Construcción	da Industria de la alimentación, bebidas y tabaco de Industria del papel; edición y artes gráficas dd Industria de la madera y el corcho f Construcción	<b>Alimentación</b> <b>Papel</b> <b>Madera</b> <b>Construcción</b>	
		Textil y piel	db Industria textil y de la confección dc Industria del cuero y del calzado	<b>Textil</b>	
		No especificado	dn Industrias manufactureras diversas	<b>Otros</b>	
		<b>SECTOR TRANSPORTE</b>	Transporte aéreo internacional Transporte aéreo interno Transporte por carretera Ferrocarril Oleoducto Navegación interna No especificado	i Transporte y comunicaciones	<b>Transporte</b>
			<b>OTROS SECTORES</b>	Agricultura	a Agricultura, ganadería, caza y selvicultura b Pesca
	Comercio y serv. Públicos --No especificado			g Comercio y reparación h Hostelería j Intermediación financiera k Inmobiliarias y servicios empresariales l Administración pública m Educación n Sanidad y servicios sociales o Otras actividades sociales y servicios p Hogares que emplean personal doméstico	<b>Terciario</b>
		Residencial	PIB total	<b>Residencial</b>	
		Transporte privado*		<b>Transporte privado</b>	
	<b>USOS NO ENERGÉTICOS</b>	En la industria En el transporte En otros sectores	--Excluido del análisis		

Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2008a) y EUROSTAT (2009a).

## **B. VALOR AÑADIDO BRUTO**

Los datos de VAB de los países europeos provienen de los Agregados Macroeconómicos a precios constantes – Desglose en 31 ramas de actividad publicadas por EUROSTAT (2009a). Se debe mencionar que los datos hasta 2004 vienen de las series a precios constantes de 1995. Sin embargo, para 2005 y 2006 se

han estimado con las tasas de crecimiento de las series de volúmenes encadenados. Esto se debe a un cambio en la metodología de EUROSTAT. Tradicionalmente, para analizar la dinámica del desarrollo económico al margen de los movimientos de precios, la contabilidad nacional de los países ha mostrado el VAB a precios de un año base, que normalmente es un año fijo. En este análisis el año base es precios constantes de 1995. Sin embargo, recientemente EUROSTAT ha modificado su sistema de transcribir la contabilidad nacional para mejorar los datos de volumen, debido a unas estructuras de precios que cambian muy rápidamente. A partir de 2005 las series de volúmenes se obtienen multiplicando las sucesivas tasas de crecimiento del año anterior empezando con un año de referencia arbitrario. En consecuencia el año base se mueve hacia adelante a medida que aumenta el período de observaciones lo que da como resultado una serie de volúmenes encadenados (EUROSTAT, 2009b).

La recopilación de datos de VAB se dificulta por el hecho de que EUROSTAT actualiza constantemente las estadísticas, lo cual afecta cualquier comparación con otro estudio en función de cuándo se ha recopilado la información.<sup>17</sup>

Al comparar los datos publicados por EUROSTAT para España y los publicados en la *Contabilidad Nacional de España* por el INE (2008), se aprecia que las series de EUROSTAT incrementan el VAB de todos los sectores en un porcentaje fijo que representa los impuestos y los Servicios de Intermediación Financiera Medidos Indirectamente (SIFMI).<sup>18</sup> No parece lógico incluir este valor cuando se analiza la IE de los sectores. Por ello se han utilizado los datos del INE para el caso español. No se dispone de información para calcular este ajuste para los países de la UE15, por lo que esto afecta ligeramente la comparación entre España y la UE15 en términos absolutos. No obstante como este porcentaje se mantiene estable y se está analizando la evolución a lo largo del tiempo, la comparación sigue dando información muy útil.

Otra cuestión a tener en cuenta es que la contabilidad nacional del INE y EUROSTAT no diferencian en el VAB el “Transporte” de las “Comunicaciones”. El efecto es una IE más reducida y quizás el mayor problema es que el crecimiento de las comunicaciones ha sido tan importante en algunos países en los últimos años que puede distorsionar bastante las comparaciones internacionales. Así, el análisis de los ratios de IE del transporte de los países europeos se debe tomar con cautela y tener en cuenta que incluyen el transporte privado y el VAB de las comunicaciones. La inclusión de la IE del transporte permite capturar cerca del 30% del consumo energético de los países por lo que añade valor a las comparaciones entre países.

---

<sup>17</sup> En la página Web de EUROSTAT <http://ec.europa.eu/EUROSTAT>, en Database/Browse en los indicadores de Economy and finance / National accounts/ Annual national accounts / Breakdowns / Breakdowns by 31 branches (NACE A-31) at constant prices. La fecha de obtención de los datos fue Junio de 2006 y febrero de 2009.

<sup>18</sup> El SIFMI es una medida indirecta del valor de los servicios de intermediación financiera que las instituciones financieras no cobran explícitamente.

Para el caso español se ha podido estimar el VAB independiente del transporte y el consumo energético del transporte de mercancías y viajeros por lo que, cuando se analice el caso español, se dispone de un ratio adecuado. Este es un enfoque novedoso puesto que los investigadores omiten este sector o lo incluyen en el sector servicios.

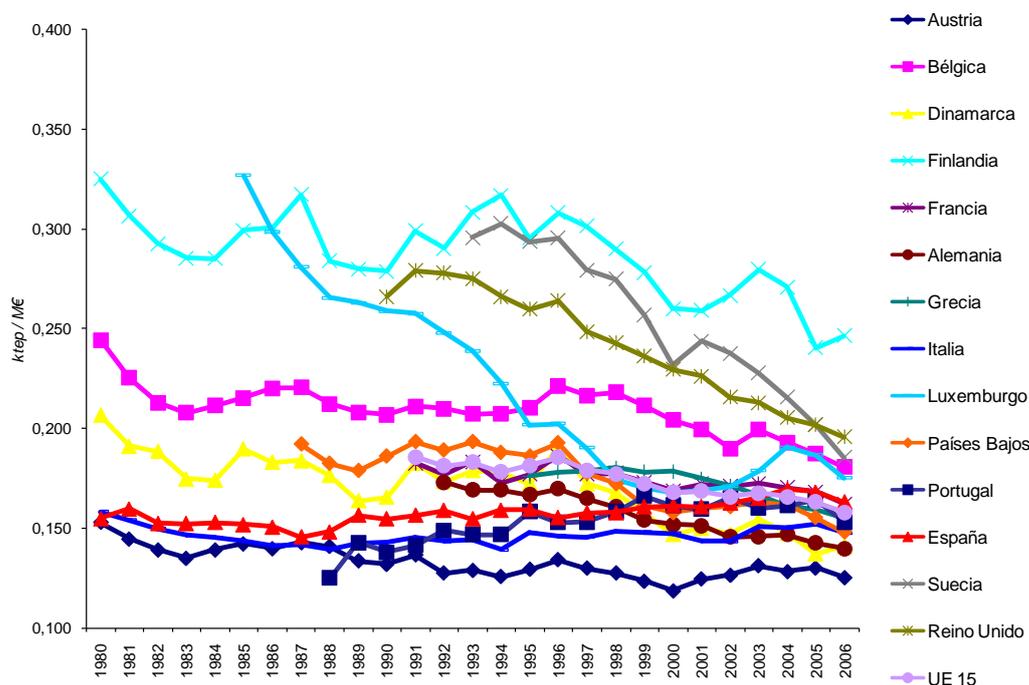
### **C. AJUSTES DEL PODER ADQUISITIVO EN EL PIB**

Por lo que se refiere al PIB, sería deseable ajustarlo a la paridad de poder de compra (PPC) para las comparaciones internacionales pero, como se verá a continuación, esto no es posible para el nivel de desagregación que se está utilizando. Los tipos de conversión PPC igualan el poder de compra entre países, por lo que son tipos de cambio y deflatores de precios, aunque para los países de la zona euro se definen como un deflactor de precios espacial.

A pesar de la conveniencia de la utilización del ajuste del PPC, existen dos razones por las que no se puede utilizarlo en este ejercicio de desagregación. El primero es que en el ajuste del PPC se utilizan tipos de cambio determinados por los precios relativos de los bienes y servicios que se comercian entre países, pero muchos de ellos – edificios, administración pública y servicios – no se incluyen en el comercio internacional. Además, existen otros factores como la especulación de monedas o los flujos de capital entre países que tienen un impacto significativo en los tipos de cambio. Por estos motivos los tipos de cambio no reflejan el poder de compra relativo en sus mercados nacionales (OCDE, 2002: 9). El segundo es que, como este ajuste está vinculado al consumo (tal y como su nombre indica), las cifras de PPC que se publican son de los grandes sectores consumidores (véase OCDE, 2002: 158-164) pero no de su producción, por lo que no se podrá aplicar un ajuste PPC a la producción de la industria o los servicios, que son en definitiva los que se analizan en el ratio de IE.

En la comparación general de la IE agregada ajustada a la PPC, las distancias entre los países se acortan y los países convergen hacia niveles similares, como se puede apreciar en el gráfico 3.3.

**Gráfico 3.3. Evolución de la intensidad energética ajustada a la paridad de poder de compra (ktep/M€ PPC).**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### **D. PERIODO TEMPORAL**

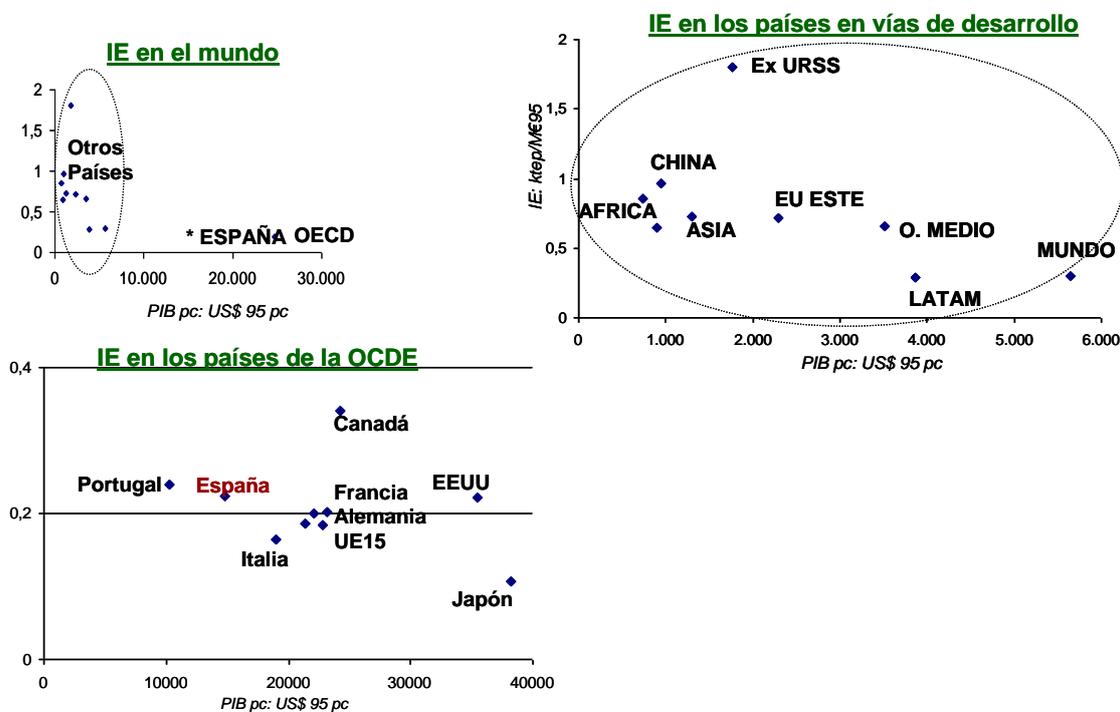
Finalmente, la elección del período de comparación es un factor esencial y los resultados serán radicalmente distintos si se parte, por ejemplo, de los valores de 1970 o de los de 1980, ya que la crisis energética de 1973 provocó un gran ajuste de la demanda energética que se percibe claramente a partir de 1974, por lo que se podrá visualizar dicho efecto si se utiliza como año de partida 1970, mientras que si se utiliza 1980, probablemente se observarán incrementos de la IE o unos descensos mucho menores. En cualquier caso es preferible el análisis de series temporales, porque permite capturar de mejor manera los cambios en los efectos estructurales o tecnológicos acaecidos a lo largo del tiempo.

### **3.4. Comparación con Europa**

Si se comparan los niveles absolutos de la IE en España con los del resto del mundo, puede parecer que España tiene una IE acorde con su nivel de desarrollo (gráfico 3.4), pero, como se ha observado en el gráfico 3.1, España ha seguido una trayectoria contraria a la de los países europeos, países a los que se debería converger tanto en términos de renta per cápita como de IE sectoriales. En el caso español no se cumplen

las tesis de desmaterialización y tampoco se han controlado debidamente las emisiones de GEI, que en 2006 crecieron un 49,5% por encima de las de 1990, mientras que el compromiso asumido era de un crecimiento de sólo el 15% en 2010.

**Gráfico 3.4. La Intensidad Energética en el mundo (ktep/M€ 95).**



Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

El problema en España es que, si bien entre 1980 y 1990 se produjo cierta desmaterialización relativa entre 1990 y 2006, el consumo energético creció un 65% (casi el doble que en la década de los ochenta) y lo hizo por encima del PIB por lo que aumentó la IE. Esto demuestra que la economía española se está “rematerializando” y los objetivos adquiridos internacionalmente serán difícilmente alcanzables. Mientras tanto la mayoría de países europeos han conseguido mejorar su eficiencia, lo que les permite ser más competitivos y reducir la dependencia energética.

### 3.4.1. Comparación de las intensidades energéticas sectoriales

El objetivo de esta sección es analizar si el caso español es diferente al del resto de los países de la UE15. Por tanto se buscan las claves diferenciales entre el comportamiento español y la evolución de la UE15 pero no se pretende realizar un análisis exhaustivo de cada país europeo.

El principal problema en la comparación de las IE europeas es la falta de series estadísticas completas de los valores añadidos brutos en los países. Así, tan solo se

publican datos a partir de 1995 para todos los países de la UE15 (excepto Irlanda). EUROSTAT proporciona las series para el valor total de la UE15 para el período temporal 1995-2006.

En el gráfico 3.1 se ha mostrado la evolución de las IE en los países de la UE15. Entre 1995 y 2006 la IE creció en España en casi 5,6 tep por cada millón de euros (+2%), mientras que en la UE15 se redujo en -27,7 tep (-13%). Por países las mayores reducciones se produjeron en Suecia (-37%) y en el Reino Unido (-24,7%). En términos absolutos en 2006 los países con unas IE más bajas son Dinamarca (135 tep/M€), Austria (151 tep/M€) y Alemania (157 tep/M€), mientras que tan solo Grecia (245 tep/M€) presenta una peor IE que España. Una primera conclusión al analizar estos ratios es que la renta per cápita influye en la evolución de la IE, como se ha visto en el capítulo anterior, y es uno de los aspectos que diferencian a España y la UE15.

En la tabla 3.4 se muestran los valores de la IE en la UE15 y se comparan con las del caso español para el período 1995-2006. En la última columna se muestra la diferencia entre España y la UE15 para el año 2006. Así, la IE en España es un 29% superior a la de la UE15 en ese año. Los puntos favorables son la menor IE en el sector residencial y en los servicios. Los países mediterráneos parten de niveles mucho más bajos de IE pero crecen y convergen hacia niveles europeos, mientras que los países nórdicos y centroeuropeos reducen progresivamente la IE del sector residencial y estabilizan la del sector servicios. Uno de los motivos de esta mejora es que las bajas temperaturas y en consecuencia el mayor consumo energético para calefacción (también influido por el nivel de ocupación de los hogares), fomentan la introducción de mejoras de eficiencia en los sistemas de calefacción y el aprovechamiento de calor. En los países mediterráneos se parte de niveles inferiores de IE por las mejores condiciones climatológicas. Pero el proceso de convergencia de renta hacia niveles europeos, implica un aumento del equipamiento de las oficinas y otros establecimientos de servicios y las temperaturas más altas provocan un mayor recurso a sistemas de climatización. Además, estos países se especializan en el sector turístico que es más intensivo en energía. Por ello, la segunda conclusión es que los sectores de servicios y residencial tienen una IE menor, pero que esconden un efecto temperatura que si se descontase no mostraría unos ratios tan favorables. En el capítulo 4 se analizará los consumos indirectos de estos sectores en el caso español, lo cual permitirá completar estas conclusiones.

Por lo que se refiere a las IE del transporte, en España son superiores a las del resto de países, exceptuando a Grecia y Portugal. La escasa información estadística sobre el consumo energético en el transporte a nivel internacional impide profundizar más.

**Tabla 3.4. Intensidades energéticas por sectores en la UE15 y España (tep/M€ 95).**

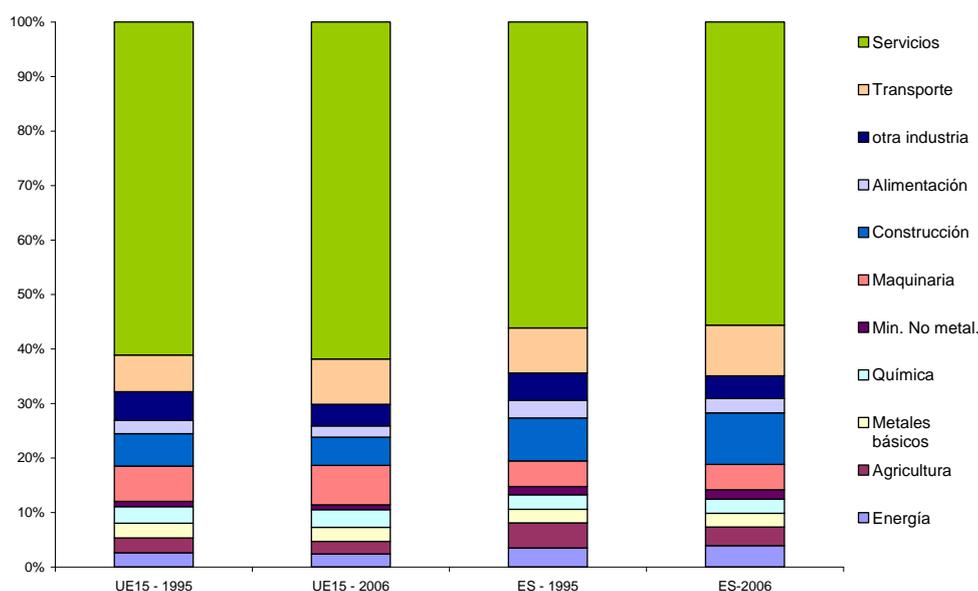
	UE15			ESPAÑA			Diferencia Esp/UE (2006)
	1.995	2.006	%	1.995	2.006	%	
<b>ENERGÍA</b>	<b>2.103</b>	<b>2.068</b>	<b>-2%</b>	<b>2.052</b>	<b>1.826</b>	<b>-11%</b>	<b>-12%</b>
<b>AGRICULTURA</b>	<b>142</b>	<b>125</b>	<b>-12%</b>	<b>118</b>	<b>142</b>	<b>21%</b>	<b>13%</b>
<b>INDUSTRIA</b>	<b>152</b>	<b>136</b>	<b>-11%</b>	<b>182</b>	<b>190</b>	<b>4%</b>	<b>40%</b>
metales básicos	267	218	-18%	399	397	-1%	82%
Química	253	180	-29%	327	349	7%	94%
Prod no metálicos	562	531	-6%	686	754	10%	42%
Mat Tpte	122	93	-24%	68	78	15%	-17%
Minería	230	222	-4%	262	306	17%	38%
Alimentación	159	154	-3%	157	188	20%	22%
Papel	241	253	5%	218	251	15%	-1%
Madera	149	156	5%	80	316	294%	102%
Construcción	13	13	0%	6	8	25%	-41%
Textil	106	111	5%	160	166	4%	49%
Otros	474	686	45%	610	413	-32%	-40%
<b>TRANSPORTE</b>	<b>684</b>	<b>514</b>	<b>-25%</b>	<b>783</b>	<b>684</b>	<b>-13%</b>	<b>33%</b>
<b>TERCIARIO</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>2%</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>24%</b>	<b>-12%</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	<b>-16%</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>5%</b>	<b>-20%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>214</b>	<b>187</b>	<b>-13%</b>	<b>235</b>	<b>241</b>	<b>2%</b>	<b>29%</b>

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la comparación de la evolución de la IE industrial, los ratios son especialmente superiores en España en el caso de los productos no metálicos (un 42% superior), los metales básicos (un 82% superior) y la química (un 94% superior). Por eso la tercera conclusión es que aunque la IE de la industria española ha mejorado, no lo ha hecho tanto como la de la UE15. Una de las razones de esas diferencias puede ser que la estructura productiva española se ha especializado en actividades que requieren más energía. Por ejemplo, en el caso de los minerales no metálicos, una buena parte de su mercado y de su crecimiento se debe a la construcción, que demanda estos materiales con un alto contenido energético (la IE del cemento es de 2.000 tep/M€ y la del acero 878 tep/M€). No obstante estas conclusiones son provisionales, puesto que se debe analizar los consumos indirectos de estos sectores para tener una imagen completa de su evolución.

En definitiva aunque la evolución de la IE de cada sector es importante, lo que es más relevante es cómo estos sectores afectan a la IE total. La comparación de la estructura económica de España y de la UE15 (gráfico 3.5) confirma lo anterior. Por ejemplo, la actividad de la construcción tiene un porcentaje del PIB en España mucho más alto que la UE15 (9,4% frente a 5,2%). Esto se debe en parte a las fuertes inversiones en infraestructuras, viviendas principales y segundas residencias, lo cual ha empujado la demanda energética de otros sectores (tal y como también apuntan Alcántara y Duro, 2004). En los minerales no metálicos y los metales básicos se combinan por tanto dos efectos: una mayor contribución al PIB español y una IE elevada al concentrarse en este tipo de actividades. El transporte tiene un porcentaje mayor del PIB, aunque las cifras podrían estar distorsionadas por la inclusión de las comunicaciones en el VAB.

**Gráfico 3.5. Desglose del PIB en la UE15 y España**



*Fuente: EUROSTAT (2009a) e INE (2008).*

### 3.4.2. Desagregación de la Intensidad Energética en la UE15

A continuación se analizan los resultados de aplicar la metodología LMDI I para la UE15 y compararlos con los de España. El objetivo es averiguar cuáles son los sectores clave que marcan las principales diferencias entre el descenso de la IE en -27,7 tep/M€ entre 1995 y 2006 en la UE15 y al aumento de 5,6 tep/M€ en el caso español. En el apartado 3.5 se analizará con detalle la evolución de la IE en España para un período más amplio (1980-2006) y con un mayor nivel de desagregación.

En la lectura de los resultados de la tabla 3.5 el "TOTAL" representa la variación de la IE total ( $D_{tot}$ ), que es la suma de los efectos estructura ( $D_{str}$ ), intersectorial ( $D_{int}$ ) y residencial ( $D_{resid}$ ) tal y como se definieron en el apartado 3.2.3. A su vez, el efecto estructura (o el intrasectorial) es la suma de los efectos de estructura (o intrasectorial) de los 13 sectores. En la columna titulada "%" se recoge el porcentaje que sobre el total tiene la suma de los dos efectos (estructura e intrasectorial) de la columna "Total".

El efecto intrasectorial es el responsable de la mayor parte de la evolución de la IE en la UE15, donde los sectores mejoran sus intensidades en -16,9 tep/M€. En el caso español es el efecto estructura el que determina el incremento de la IE en el período.

**Tabla 3.5. Desagregación de la intensidad energética en España y en la UE15 entre 1995 y2006 (tep/M€ 95).**

UE15 1995-2006						ESPAÑA 1995-2006					
	Str	Int	Resid	Total	%		Str	Int	Resid	Total	%
ENERGÍA	-10,8	-1,0		-11,9	43%	Energía	1,5	-8,8		-7,3	-131%
AGRICULTURA	-0,5	-0,4		-1,0	3%	AGRICULTURA	-1,6	1,0		-0,6	-10%
INDUSTRIA	-2,0	-4,1		-6,1	22%	INDUSTRIA	0,7	2,1		2,8	50%
Metales básicos	-0,4	-1,3		-1,7	6%	metales básicos	0,1	-0,1		0,1	1%
Química	0,5	-2,3		-1,8	7%	Química	-0,3	0,6		0,2	4%
Min no metálicos	-0,5	-0,3		-0,8	3%	Prod no metálicos	1,4	1,1		2,5	44%
Mat Tpte	0,4	-1,1		-0,7	3%	Mat Tpte	-0,1	0,5		0,4	7%
Minería	-0,1	0,0		-0,1	0%	Minería	-0,1	0,1		0,0	0%
Alimentación	-0,6	-0,1		-0,7	2%	Alimentación	-1,0	0,9		-0,1	-2%
Papel	-0,7	0,2		-0,5	2%	Papel	0,2	0,5		0,8	14%
Madera	-0,1	0,0		0,0	0%	Madera	-0,1	1,1		1,0	18%
Construcción	-0,1	0,0		-0,1	0%	Construcción	0,1	0,1		0,2	4%
Textil	-0,5	0,1		-0,5	2%	Textil	-1,0	0,1		-0,9	-16%
Otros	-0,8	1,5		0,8	-3%	Otros	0,3	-1,6		-1,3	-24%
TRANSPORTE	9,3	-12,6		-3,3	12%	TRANSPORTE	16,3	-9,2		7,1	126%
TERCIARIO	0,2	0,4		0,6	-2%	TERCIARIO	-0,4	2,8		2,5	44%
Residencial			-6,0	-6,0	22%	Residencial			1,2	1,2	21%
<b>TOTAL</b>	<b>-4,7</b>	<b>-16,9</b>	<b>-6,0</b>	<b>-27,7</b>		<b>TOTAL</b>	<b>15,3</b>	<b>-10,9</b>	<b>1,2</b>	<b>5,6</b>	

Fuente: Elaboración propia

Por sectores las mayores diferencias se producen en el transporte, el sector residencial y, en menor medida, en la industria, en particular en los minerales no metálicos, por las razones antes descritas.

El transporte incrementa la IE en España en (+7,1tep/M€), mientras que se reduce en la UE15 en (-3,3 tep/M€). En el capítulo 8 se realizará un análisis detallado del transporte de mercancías y de viajeros, pero sirva de apunte inicial que una de las razones detrás de esta evolución es el fuerte incremento de la movilidad por carretera, que demandó un 50% más de energía entre 1995 y 2006, tanto en mercancías (+55%) como en transporte privado (+41%). En el primer caso, el detrimento de su IE, tal y como se detallará más adelante, se debe a la fuerte actividad de la construcción y las exportaciones y el comercio de productos agrícolas y de alimentación (en su conjunto un 53% del transporte de mercancías por carretera) y la demanda de suministros rápidos a distancias cortas (en furgonetas poco eficientes). Además la demanda de transporte de mercancías se realiza por carretera (80% del total), que es menos eficiente, y las mejoras de eficiencia de los camiones han sido limitadas (Mendiluce, 2008). En el capítulo 4 se distribuirá el consumo de energía para el transporte de mercancías por los sectores que lo demandan, lo cual, dada la magnitud del mismo, permitirá descubrir qué sectores están realmente incrementando la IE en España.

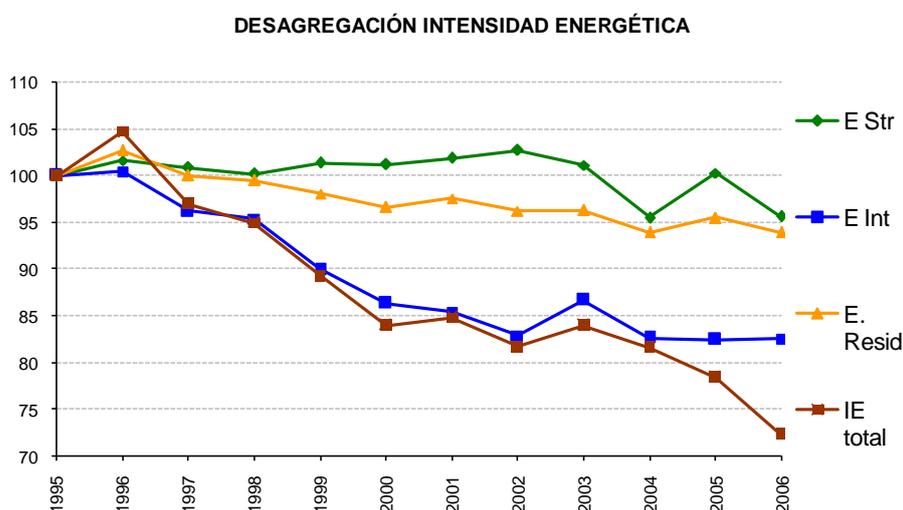
Por lo que se refiere al transporte de pasajeros, el incremento de la población (+12%) y de la renta per cápita (+28%), la transición hacia un modelo de urbanización dispersa y el tratamiento fiscal favorable al diésel, han provocado un fuerte incremento de la distancia recorrida y, por tanto, del consumo energético. No obstante el transporte per

cápita en España es todavía inferior a la media europea (11.200 Km. versus 14.000 Km. en 2003) (Mendiluce, 2008).

La mejora de los sistemas de calefacción y el aprovechamiento de calor explica la reducción de la IE del sector residencial en la UE15 (-6 tep/M€), mientras que los hogares españoles han aumentado su demanda energética y convergido hacia los niveles de la UE. Las razones detrás de esta evolución se encuentran en: los cambios en el modelo de urbanización; el aumento de la población, el empleo y el incremento de la renta per cápita, que han propulsado una convergencia hacia los niveles europeos de equipamiento; y el retraso en la aprobación de un Código de Edificación más exigente, que entró en vigor en el año 2007, año en el que la actividad constructora empezó a declinar. Además, unos precios de la energía más bajos en España han podido contribuir también a un consumo ineficiente en los hogares y el terciario. Estos aspectos se examinarán en mayor detalle en un capítulo aparte.

En el gráfico 3.6 se muestra la descomposición de IE para la UE15 en los tres efectos descritos y se transforman en índice con 1995 como base 100. La IE total nuevamente es la suma de los efectos estructural, intrasectorial y residencial. Las mayores reducciones de la IE se producen entre los años 1996 y 2000, mientras que como se verá en la sección siguiente la IE aumenta en España desde 1996 y lo hace de forma más pronunciada a partir de 2000.

**Gráfico 3.6. Desagregación de la intensidad energética en la UE15 (1995=100)**

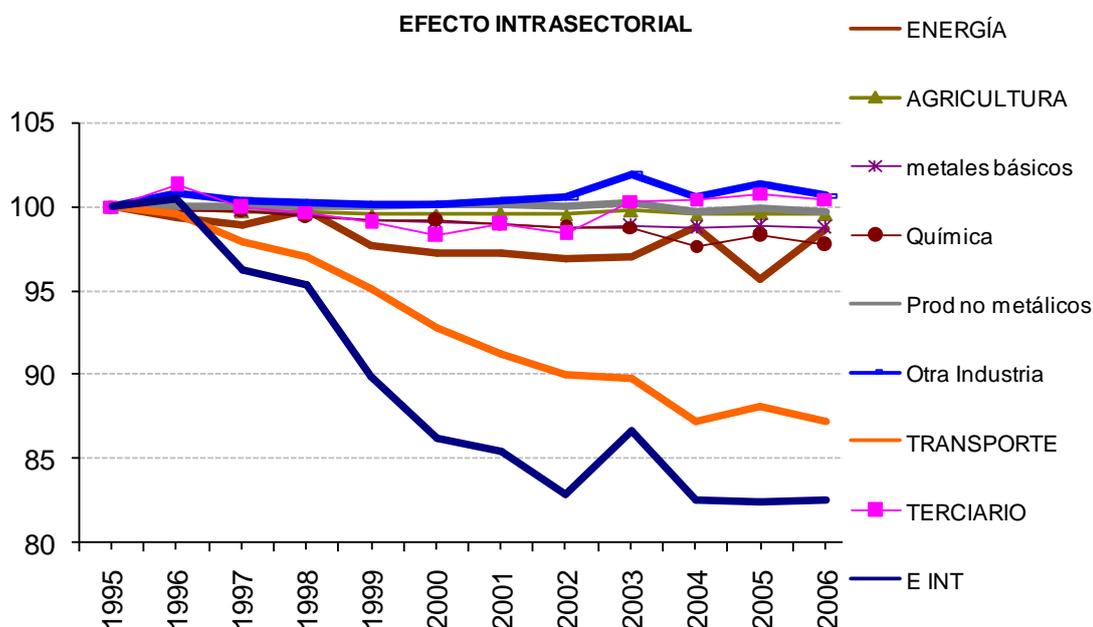


*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico 3.7 se muestra la evolución entre 1995 y 2006 del efecto intrasectorial de los sectores, cuya suma es el efecto intrasectorial total ( $E_{Int}$ ), que refleja la segunda columna de la tabla 3.5 transformada en índice con 1995 como base 100. La mejora del efecto intrasectorial en el caso de la UE15 se debe fundamentalmente a la evolución

de la generación de electricidad en Alemania, como se comentará más adelante. Otro aspecto significativo en este país, que afecta a la evolución de la UE15, es la fuerte mejora de la IE de los hogares antes descrita.

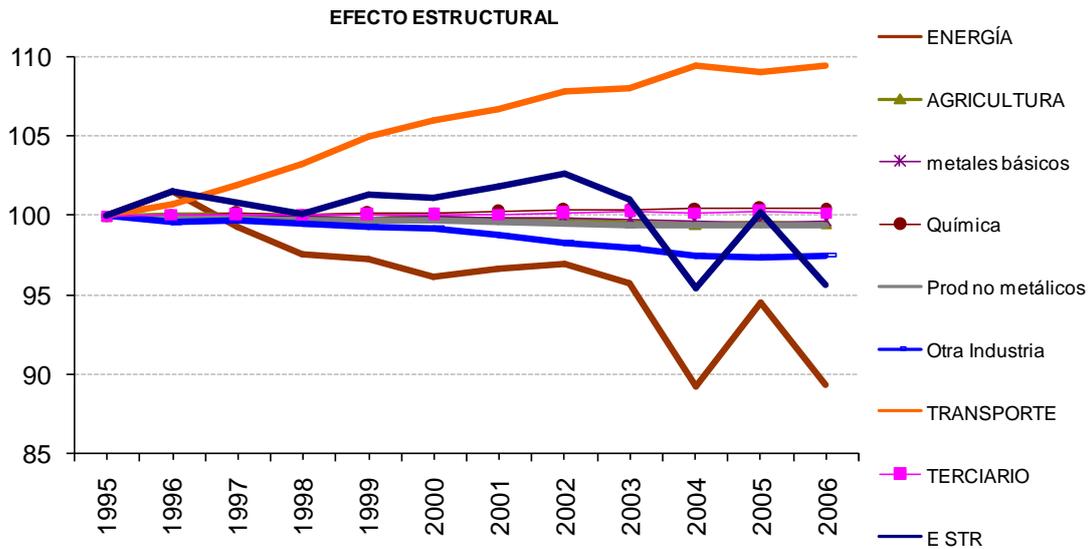
**Gráfico 3.7. Efecto intrasectorial por sectores en la UE15 (1995=100)**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.8 se muestra la evolución en la UE15 entre 1995 y 2006 del efecto estructural de los sectores, cuya suma es el efecto estructural total ( $E_{Str}$ ), que refleja la primera columna de la tabla 3.5 transformada en índice con 1995 como base 100. El efecto estructural en la UE15 es reducido porque el incremento del transporte (9,3 tep) es compensado por la industria (-2 tep) y el sector energético (-10,8 tep). Un aspecto destacable al analizar este período temporal es que los efectos estructurales adquieren mayor importancia en el caso español, donde el aumento del transporte (+16,3 tep) es superior al de la UE15 y no se compensa con la industria (que aumenta la IE en 0,7 tep).

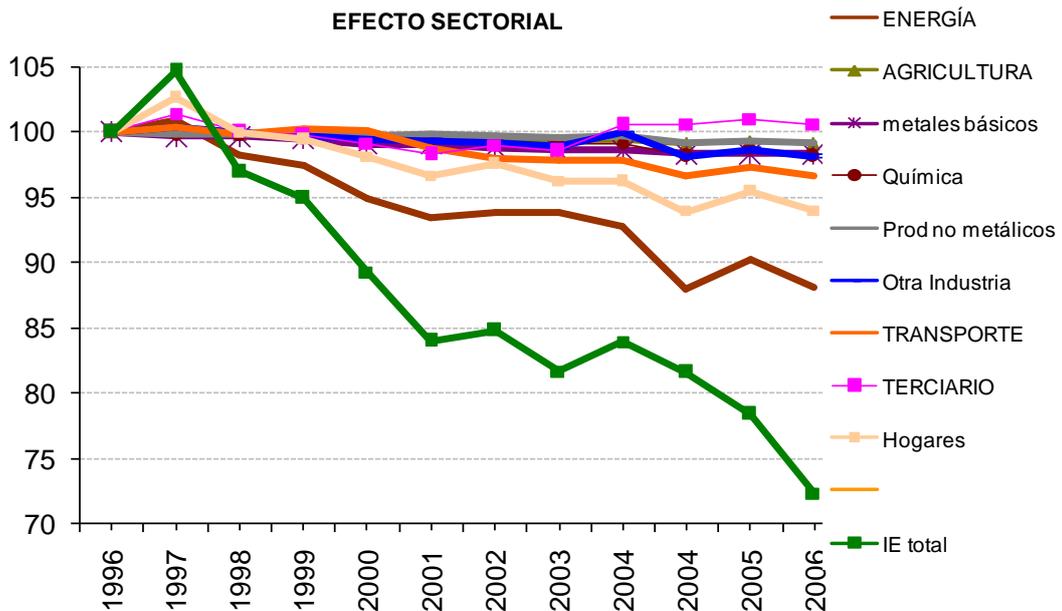
**Gráfico 3.8. Efecto estructural por sectores en la UE15 (1995=100)**



Fuente: Elaboración propia

Por último, al analizar el efecto conjunto de los sectores sobre la IE de la UE15 se concluye que la energía es la principal responsable de la evolución de la IE total en la UE15 (un 43% de la reducción), seguida de los hogares (un 22%) y la industria (un 22%).

**Gráfico 3.9. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética en la UE15 (1995=100)**



Fuente: Elaboración propia

La diferente evolución de los sectores ha conducido a una diferencia de nivel de IE entre España y la UE15 de 54 tep/M€ en 2006. Se puede aplicar la metodología LMDI I para desagregar esta diferencia, de manera que se distingan claramente los sectores clave y la magnitud de la diferencia. La formulación es la misma que la realizada en el ejercicio anterior pero en vez de calcular la diferencia en un país entre 1995 y 2006 se calcula la diferencia entre España y la UE15 en el año 2006. Los resultados se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Desagregación de la diferencia de la intensidad energética entre España y la UE15 en 2006 (tep/M€ 95).**

	<b>Str</b>	<b>Int</b>	<b>Resid</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<b>Energía</b>	23,2	-7,9		15,3	28%
<b>AGRICULTURA</b>	1,5	0,5		2,0	4%
<b>INDUSTRIA</b>	4,4	14,2		18,6	34%
<b>Metales básicos</b>	-0,2	4,5		4,3	8%
<b>Química</b>	-1,7	4,9		3,1	6%
<b>Min. no metálicos</b>	5,3	2,8		8,2	15%
<b>Mat Tpte</b>	-1,5	2,0		0,4	1%
<b>Maquinaria</b>	0,0	0,0		0,0	0%
<b>Minería</b>	0,1	0,2		0,3	1%
<b>Alimentación</b>	0,9	0,8		1,7	3%
<b>Papel</b>	0,1	0,0		0,1	0%
<b>Madera</b>	0,0	0,7		0,7	1%
<b>Construcción</b>	0,4	-0,4		0,0	0%
<b>Textil</b>	0,2	0,5		0,7	1%
<b>Otros</b>	0,9	-2,0		-1,1	-2%
<b>TRANSPORTE</b>	13,2	16,0		29,2	54%
<b>TERCIARIO</b>	-2,0	-2,2		-4,2	-8%
<b>Residencial</b>			-6,4	-6,4	-12%
<b>TOTAL</b>	<b>40,5</b>	<b>20,3</b>	<b>-6,4</b>	<b>54,4</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

Se confirma que los principales sectores que contribuyen a la diferencia son el transporte y la industria. El primero aporta 29,2 tep/M€ de la diferencia pero hay que tener en cuenta que esta cifra incluye las comunicaciones en su VAB y el consumo energético del transporte privado, lo cual distorsiona el análisis. En cuanto a la industria, es responsable del 34% de la diferencia, sobre todo por la mayor IE en España de los metales básicos y los minerales no metálicos. Esto significa que, aunque estas ramas han mejorado sus IE entre 1980 y 2006, como se verá más adelante, no lo han hecho de la misma forma que la UE15 y, por ello, tienen unas IE más altas.

El aspecto más destacable de este análisis es la fuerte influencia del efecto estructural que aporta 40,5 tep/M€. Esto se debe al mayor peso en la economía española de actividades intensivas en energía como son el sector energético (23,2 tep/M€) y el

transporte (13,2 tep/M€). También se puede interpretar como el menor peso en la economía del sector servicios, como se ha visto anteriormente, que suele reducir la IE total del país.

Tras analizar la diferencia de la IE desde diferentes perspectivas, se puede llegar a las siguientes conclusiones :

- La reducción de la IE en el sector transformador de energía es el principal responsable de la reducción de la IE en la UE15, principalmente por la penetración de las renovables en Alemania. En España este sector contribuye en ese período a contener la IE pero como la demanda de electricidad crece a ritmos mucho más fuertes (un 81% en España frente a un 18% en Alemania) no lo hace tanto.
- El sector del transporte, que es el principal responsable del incremento de la IE en el caso español, reduce la IE en la UE15 por el efecto intrasectorial. La IE del transporte española es un 33% superior a la europea, pero estas conclusiones se deben tomar con cautela por las deficiencias estadísticas mencionadas en el apartado 3.3.2.
- La industria española es responsable de una buena parte de la diferencia con la UE15 por el efecto intrasectorial (que aumenta la IE en 14,2 tep/M€). El empeoramiento es notable en los metales básicos, química y los minerales no metálicos. Merece la pena destacar que estos sectores han disfrutado de unas tarifas eléctricas muy bajas hasta 2006. No obstante una parte del efecto intrasectorial podría estar determinado por efectos estructurales dentro de cada rama, ya que en la UE15 ya se había construido la mayor parte de las infraestructuras y viviendas, mientras que en España el boom de la construcción ha sido muy fuerte en el período, tanto en la construcción de infraestructuras como de edificaciones. Por ello en la UE15 estas actividades no contribuyen tanto al PIB y la evolución del sector está empujada por otras actividades de mayor valor añadido.
- En la UE15 en el período analizado se ha mejorado considerablemente la eficiencia en el suministro de calefacción en los hogares con el aprovechamiento de calor (*district heating*), lo que se traduce en mejoras de la intensidad en el sector terciario y residencial. En España el aumento de las necesidades energéticas, el incremento de población y una renta per cápita que converge a niveles europeos explica el crecimiento de la intensidad en los hogares. En el caso del sector terciario el aumento de la IE podría deberse en parte a la fuerte especialización en el sector turístico, con mayores necesidades energéticas.

### 3.4.3. Países clave en la evolución de la IE en la UE15

Cuando se comparan países con diferentes abastecimientos energéticos, diverso grado de especialización económica y diferente tamaño, es importante conocer qué parte de la evolución total del agregado se debe a la evolución de cada país. La identificación de estos países permite asesorar cuáles son las políticas energéticas o económicas exitosas y comprobar si el caso español es una excepción.

Se utiliza para ello la metodología LMDI I para la desagregación de la IE de la UE15 ( $D_{tot}$ ) entre los países que la integran en el período 1995-2006. Se obtiene el efecto estructural ( $D_{str}$ ) mostrado en la columna “str” que refleja cómo los cambios en el PIB de cada país afectan al PIB total y el efecto intrasectorial ( $D_{int}$ ) mostrado en la columna “int”, que muestra cómo la IE de cada país afecta a la IE total. La columna “total” es la suma de los efectos anteriores. Finalmente, la columna “%” refleja la suma de ambos efectos en cada país dividida por la variación de la IE total de la UE15, esto es, cómo ha afectado cada país a la variación de la IE total europea.

Como sólo se está desagregando el indicador de IE se puede utilizar el PIB ajustado a la paridad de poder de compra de cada país en tep por millones de dólares de 2000 ajustados al PPC (tep/MUSD PPC). Por lo tanto, estos resultados no son comparables con los del apartado anterior, aunque muestran unas tendencias similares.

La IE se puede descomponer en los dos efectos:

$$\frac{E_{EU,T}}{Y_{EU,T}} = \sum_c \frac{E_{c,T}}{Y_{c,T}} \frac{Y_{c,T}}{Y_{EU,T}}$$

donde ,

$$E_{EU,T} = \sum_c E_{c,T} \quad Y_{EU,T} = \sum_c Y_{c,T}$$

y c representa cada país de la UE15.

En su versión multiplicativa, el cambio relativo de la IE agregada en la UE15 se expresa en forma de índices que se relacionan de forma multiplicativa  $D_{tot}=D_{str} \cdot D_{int}$  y los dos efectos se calculan así:

$$D_{str} = \exp \left[ \sum_c W_c' \ln \left( \frac{S_{c,T}}{S_{c,0}} \right) \right] \quad \text{y} \quad D_{int} = \exp \left[ \sum_c W_c' \ln \left( \frac{I_{c,T}}{I_{c,0}} \right) \right]$$

donde  $W_c'$  se calcula como una aproximación entre su valor entre 0 y T:

$$W_C' = \frac{L(E_{c,T}/Y_{EU,T}, E_{i0}/Y_{EU,0})}{L(E_{EU,T}/Y_{EU,T}, E_{EU,0}/Y_{EU,0})}$$

Para facilitar la comprensión de los resultados se muestran en forma aditiva en la tabla 3.7. La columna “Str” recoge el efecto estructural, esto es, cómo el cambio de la estructura productiva de cada país afecta a la IE de la UE15. Así, la IE ha aumentado en 2,5 tep/MUSD por el aumento del peso de la economía española sobre el PIB de la UE15. El efecto “int” representa cómo el cambio de la IE de cada país afecta a la IE total. En el caso alemán, la reducción de su IE repercute en una disminución de -5,3 tep/MUSD en la IE total. La principal conclusión es que un 61% de la reducción de la IE en la UE15 se debe a la mejora del indicador en Alemania (37%) y el Reino Unido (24%). La mayor parte de los cambios se producen por el efecto intensidad, mientras que los cambios en la estructura económica son menores.

**Tabla 3.7. Desagregación de la intensidad energética de la UE15 entre 1995 y 2006 (tep/MUSD 2000 PPC).**

	Str	Int	Total	%
<b>Austria</b>	0,0	0,0	0,0	0%
<b>Bélgica</b>	-0,1	-1,0	-1,0	4%
<b>Dinamarca</b>	0,0	-0,4	-0,5	2%
<b>Finlandia</b>	0,6	-0,6	0,0	0%
<b>Francia</b>	-0,3	-3,7	-4,0	16%
<b>Alemania</b>	-3,7	-5,3	-9,0	37%
<b>Grecia</b>	0,5	-0,4	0,1	0%
<b>Irlanda</b>	0,7	-0,6	0,1	-1%
<b>Italia</b>	-2,0	-0,4	-2,4	10%
<b>Luxemburgo</b>	0,1	-0,1	0,0	0%
<b>P. Bajos</b>	0,3	-1,7	-1,3	5%
<b>Portugal</b>	0,0	-0,2	-0,2	1%
<b>España</b>	2,1	-1,1	0,9	-4%
<b>Suecia</b>	0,5	-1,8	-1,3	5%
<b>Reino Unido</b>	1,5	-7,3	-5,8	24%
<b>Total</b>	<b>0,1</b>	<b>-24,6</b>	<b>-24,5</b>	<b>100%</b>

Cuando se analiza la descomposición de las IE en Alemania en este período se descubre que la IE entre 1995 y 2006 descendió un -16% debido principalmente a las mejoras en el sector de energía (50%), transporte (21%) y residencial (25%). El sector energético redujo su IE porque la demanda de electricidad solo creció un 18% y se cubrió con fuentes energéticas más eficientes: las energías renovables (que aumentan desde 9.415 GWh en 1995 hasta 54.265 GWh en 2006) y el gas natural (que contribuye

con 43.180 GWh en 1995 hasta 76.077 GWh en 2006)<sup>19</sup>. En el sector residencial, los cambios en el abastecimiento energético están detrás de su evolución positiva. En efecto, la demanda energética se redujo en el período gracias a la sustitución de productos petrolíferos y del carbón por energías renovables, gas y calor.

En cuanto a la descomposición de las IE en el Reino Unido su evolución es, en general, similar. La generación eléctrica sólo se incrementó un 19% y se desplazó su abastecimiento hacia fuentes más eficientes (aunque aquí las renovables no muestran un crecimiento tan impresionante). Pero el principal impulsor de las reducciones del Reino Unido es el crecimiento espectacular de VAB del transporte (probablemente por la inclusión en esta categoría de las actividades de Comunicaciones, que no consumen tanta energía como el transporte) y el sector servicios, con una menor IE.

España sigue una evolución similar en cuanto a los abastecimientos para la generación de electricidad, mejorando así su ratio de IE. No obstante este efecto es menos visible por la fuerte demanda de electricidad (+81% en el periodo).

El análisis muestra que el caso español es una excepción puesto que es el único país que empeora la IE de la EU15 (+4%) y es el único país donde el efecto estructural empuja la IE en el período analizado.

## **3.5. Análisis de la intensidad energética en España**

### **3.5.1. Evolución de la intensidad energética sectorial**

La IE primaria en España ha oscilado entre 1980 y 2006 en torno a 230-250 tep/M€95, con un comportamiento desigual tanto en los sectores como en la evolución a lo largo del tiempo. Entre 2004 y 2006 la IE se ha reducido en 9 tep hasta los 241 tep/M€ lo cual arroja un panorama más alentador.

En este período el incremento de IE sectorial más significativo se produce en el sector terciario (+70%), por el incremento de las necesidades ofimáticas y el uso de aparatos de climatización, que provocan un incremento de la IE en un sector en crecimiento que aporta el 59% del PIB en España. No obstante su IE es todavía muy baja (24 tep/ M€ 95), por lo que el impulso de su crecimiento a la IE global no es muy significativo.

El transporte de mercancías incrementa su IE en el período un 29% hasta los 901 tep/M€ 95. A diferencia de lo que sucedía en la sección anterior esta cifra excluye el consumo del sector residencial y el VAB de las comunicaciones, al disponer del desglose de esos conceptos. Se debe destacar que en este caso el transporte privado

---

<sup>19</sup> En los balances energéticos de la IEA la eficiencia de la generación eléctrica para Alemania fue de un 38% para el carbón, 45% para el gas y 100% para las energías renovables.

corresponde únicamente al que se realiza en vehículo particular, puesto que aunque las familias se desplazan en autobús o tren, esto se considera un servicio retribuido que genera VAB y que se incluye en el total del VAB del transporte. La IE del transporte privado (24 tep/M€ 95) se calcula sobre el PIB total de la economía, de la misma forma que se hace con el consumo de los hogares.

**Tabla 3.8. Evolución de la intensidad energética en España entre 1980 y 2006 (tep/M€95).**

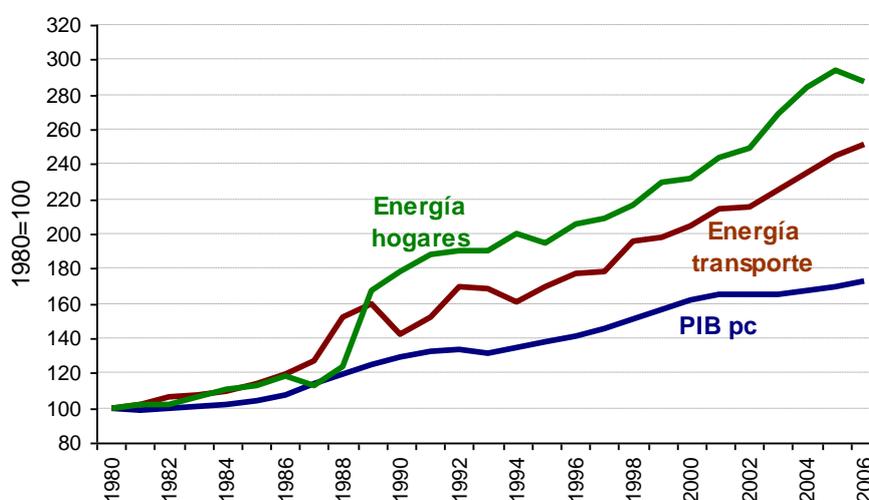
	1980	2006	Var. %
<b>IE TOTAL</b>	<b>229</b>	<b>241</b>	<b>6%</b>
Energía	1716	1826	6%
<b>IE FINAL</b>	<b>166</b>	<b>177</b>	<b>7%</b>
<b>AGRICULTURA</b>	<b>147</b>	<b>142</b>	<b>-4%</b>
<b>INDUSTRIA</b>	<b>222</b>	<b>190</b>	<b>-15%</b>
Metales básicos	841	397	-53%
Química	447	349	-22%
Prod no metálicos	875	754	-14%
Material Transporte	60	78	29%
Minería	171	298	74%
Alimentación	165	188	14%
Papel	239	251	5%
Madera	116	316	172%
Construcción	5	8	55%
Textil	112	166	48%
Otros	300	413	38%
<b>TRANSPORTE</b>	<b>696</b>	<b>901</b>	<b>29%</b>
<b>TERCIARIO</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>70%</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>42%</b>
<b>TPTE PRIVADO</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>24%</b>

*Nota: Véase apartado 3.3.2 para una descripción de los subsectores incluidos en cada sector.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Por otro lado, también en los hogares aumenta la IE (+42%) hasta los 26 tep/M€ 95 en 2006. Así, las familias son responsables de buena parte del crecimiento de la IE total. Si se suman ambos consumos (hogares y automóvil) la IE asciende a 50 tep/M€ 95. Como se puede apreciar en el gráfico 3.10, los españoles han aumentado en estos años su consumo energético en sus hogares y en sus vehículos por encima del crecimiento de su renta per cápita, lo cual refleja en parte el proceso de convergencia con Europa (electrodomésticos y posesión de vehículos) así como la reducción de los precios de la energía en comparación con otros bienes. En el año 2006 unas temperaturas más cálidas fueron las responsables del descenso del consumo energético en los hogares.

**Gráfico 3.10. Crecimiento del consumo energético de los hogares entre 1980 y 2006 (1980=100).**



*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

La industria compensa estos crecimientos, con un descenso de la IE del 15%. Dentro de la industria existen sectores muy intensivos en energía (metales básicos, química y productos no metálicos) y otros de menor intensidad. La construcción tiene una IE baja porque no incluye los materiales utilizados. Si se contabilizase conjuntamente la construcción y los minerales no metálicos la IE ascendería a 122 tep/M€.

Si se analizan las variaciones de las IE sectoriales, se puede ver que las más importantes se producen precisamente en los sectores más intensivos en energía, como son los metales básicos (-53%) la industria química (-22%) y los minerales no metálicos (-14%). Como se ha visto en el apartado anterior, estas reducciones son insuficientes cuando se compara con la evolución en la UE15.

Por lo que se refiere a la IE del sector de la madera y corcho, la cifra de consumo energético está infravalorada en los años anteriores a 1990, porque las estadísticas para esos años no recogen el uso de la biomasa (que representa entre el 50 y el 65% de su consumo total). Esta deficiencia estadística afecta principalmente a este sector, puesto que las estadísticas en el sector de la alimentación y papel son mejores y el porcentaje de este combustible sobre su consumo energético total es más reducido.

La IE de las actividades de transformación de energía incluye todos los consumos energéticos de transformación y el VAB de la electricidad, la distribución de gas y agua, la extracción de productos energéticos (antracita, hulla, lignito y turba y crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio) y las coquerías, refino y combustibles nucleares. La mayor parte del consumo energético, 79%, se produce en el sector eléctrico.

Entre 1980 y 2006 la IE de los sectores transformadores aumentó un 6%, lo cual es bastante reducido si se tiene en cuenta la fuerte demanda de electricidad en el período. Esto es así por cambio en los combustibles utilizados.

### 3.5.2. Desagregación de la intensidad energética en España

A continuación se muestran los resultados del ejercicio de desagregación de la IE en España en el período 1980-2006, siguiendo el método LMDI I en su versión aditiva. La IE aumentó un 6% entre 1980 y 2006, por lo que en 2006 se necesitaron 241 tep para producir un millón de euros de VAB, esto es 12 tep más por cada millón de euros. Entre 2005 y 2006 la IE se redujo 8,7 tep/M€ lo cual supone un fuerte cambio de tendencia.

Para la lectura de los resultados de la tabla 3. 9 se recuerda que el TOTAL representa la variación de la IE total ( $D_{tot}$ ) que es la suma de los efectos estructura ( $D_{str}$ ), intersectorial ( $D_{int}$ ) y residencial ( $D_{resid}$ ).

$$D_{tot}=D_{str}+D_{int}+D_{resid}$$

Así, el aumento de la IE se debe a la reducción de -10,7 tep/M€ por el efecto estructural (el menor peso en la economía de algunas ramas productivas), el aumento de 11,1 tep/M€ por el efecto intrasectorial (incremento de la IE de los sectores) y el aumento de 12,3 tep/M€ por el efecto residencial.

A su vez, el efecto estructura (o el intrasectorial) es la suma de los efectos estructura (o intrasectorial) de los 13 sectores. Por ejemplo, se puede ver que el efecto estructura de la industria (esto es, la pérdida de peso de esta actividad sobre el PIB) es el principal responsable de la evolución estructural al reducir la IE en 5,6 tep/M€. Se muestra el total de la industria y, tal y como se ha descrito anteriormente, al ser un método de descomposición consistente en la agregación, la suma de los sectores industriales resulta en el total de la industria mostrado.

En la columna titulada “efecto conjunto” se recoge la suma de los dos efectos (estructura e intrasectorial) para cada sector y, en la quinta columna, el porcentaje de cada sector sobre el total. Así, el transporte (tanto de mercancías como privado) y el terciario son los sectores que más influyen en la evolución de la IE y se ven parcialmente compensados con las reducciones en la industria (-15,1 tep/M€) y la agricultura (-3,4 tep/M€).

**Tabla 3.9. Desagregación de la intensidad energética en España entre 1980 y 2006 (tep/M€).**

	Efecto Estructura	Efecto Intrasectorial	Efecto Residencial	Efecto conjunto	%
Energía	-2,6	4,4		1,8	14%
AGRICULTURA	-3,2	-0,2		-3,4	-27%
INDUSTRIA	-5,6	-9,4		-15,1	-118%
Metales básicos	1,6	-10,4		-8,8	-69%
Química	0,3	-2,5		-2,2	-17%
Prod no metálicos	-1,7	-2,2		-3,8	-30%
Mat Tpte	-0,5	0,9		0,4	3%
Minería	-1,1	0,5		-0,6	-5%
Alimentación	-1,7	0,7		-0,9	-7%
Papel	-0,4	0,2		-0,2	-1%
Madera	-0,5	1,1		0,6	5%
Construcción	0,1	0,2		0,3	2%
Textil	-2,0	0,8		-1,2	-9%
Otros	0,6	0,9		1,4	11%
TRANSPORTE	-0,6	11,0		10,4	81%
TERCIARIO	1,0	5,7		6,7	53%
Hogares			7,7	7,7	60%
Tpte residencial			4,7	4,7	37%
<b>TOTAL</b>	<b>-10,7</b>	<b>11,1</b>	<b>12,3</b>	<b>12,7</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

En el gráfico 3.11 se muestra la descomposición de IE cada año (esto es 1980-1981, 1981-1982, ..., 2005-2006) en los tres efectos descritos y se transforman en índice con 1980 como base 100. La IE total nuevamente es la suma de los efectos estructural, intrasectorial y residencial.

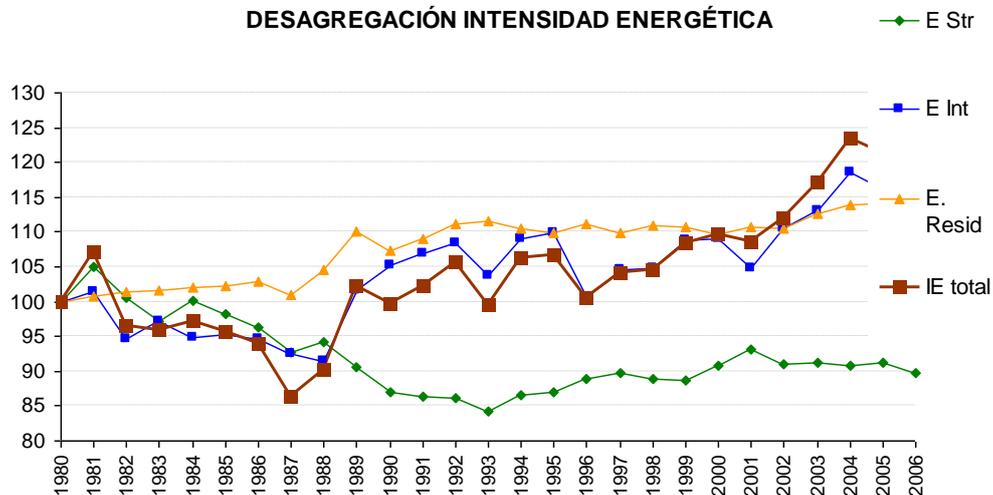
La década de los 80 comienza con una reducción de la IE por los efectos estructural e intrasectorial, sin duda influido por la reconversión industrial de esos años, durante los que el consumo energético se contrajo por el incremento de los precios del petróleo, y del descenso de la actividad económica, que también afecta al sector residencial que mantiene estable su aportación a la IE total.

No obstante a partir de 1990 no se producen variaciones por el efecto estructural y el consumo energético de las familias aumenta significativamente a partir de 1987. Finalmente, el efecto intrasectorial condiciona la evolución de la IE, tal y como se percibe en el gráfico 3.11, y es especialmente notable su incremento a partir del año 1997, habiéndose mantenido estable desde 1989.

Es interesante contrastar este gráfico con los resultados ofrecidos en la comparación con la UE15 puesto que el aumento de la IE por el efecto estructural se produce a finales de los 90. Los resultados mostrados en la tabla 3.6 muestran cómo el efecto estructural es el principal responsable de la tendencia divergente con la UE15. La combinación de ambos análisis permite sacar conclusiones que otros investigadores no

han podido apreciar por limitarse a un número menor de sectores o a un solo país o a un período temporal diferente.

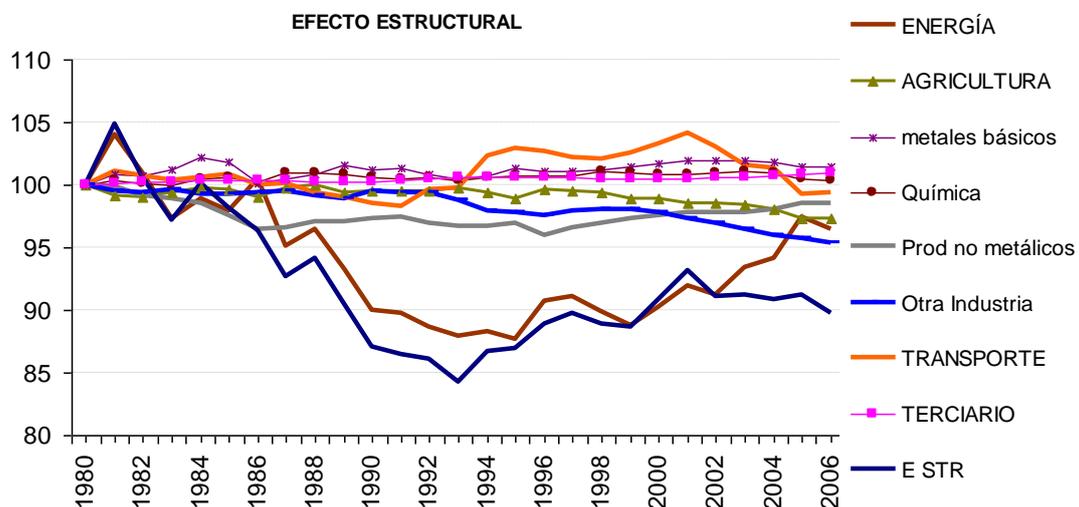
**Gráfico 3.11. Desagregación de la intensidad energética en España (1980=100).**



*E Str: Efecto Estructural; E Int: Efecto intrasectorial; E Resid: Efecto Residencial.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Gráfico 3.12. Efecto estructural por sectores en España (1980=100).**



*Fuente: Elaboración propia.*

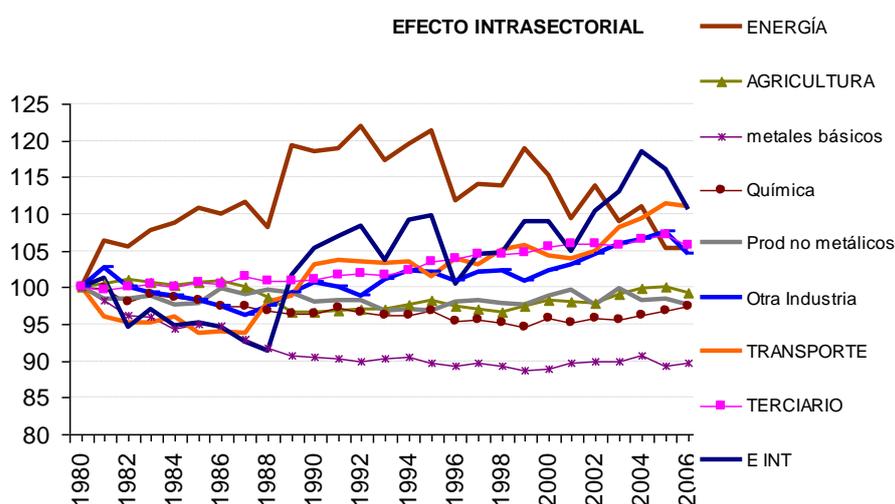
El siguiente paso es conocer cuál ha sido la incidencia de los sectores en la evolución de cada efecto. En el gráfico 3.12 se muestra la evolución entre 1980 y 2006 del efecto estructural de los sectores cuya suma resulta en el efecto estructural total (E Str), que refleja la primera columna de la tabla 3.9 transformada en índice con 1980 como base

100. La reducción del efecto estructural se debe fundamentalmente al sector industrial (-5,6 tep/M€), a la agricultura (-3,2 tep/M€) y al sector de la energía (-2,6 tep/M€). Esto es lógico pues a medida que las economías se desarrollan el sector terciario, menos intensivo en energía, aumenta su aportación al PIB en detrimento de otras actividades productivas.

En el gráfico 3.13 se muestra la evolución entre 1980 y 2006 del efecto intrasectorial de los sectores cuya suma resulta en el efecto intrasectorial total (E Int), que refleja la segunda columna de la tabla 3.4 transformada en índice con 1980 como base 100. Si entre 1980 y 2006 la IE aumentó en 12,7 tep por millón de euros, el efecto intrasectorial es responsable del incremento de 11,1 tep, siendo el transporte el principal responsable de este incremento (+11 tep/M€).

En contraste la reducción de la industria (-9,4 tep/M€) viene marcada en la década de los 80 por los altos precios del petróleo y la reconversión industrial en sectores muy intensivos en energía (metales básicos, química, minerales no metálicos).<sup>20</sup> Este comportamiento se ve compensado con crecimientos de las IE sectoriales a partir de los 90. Por ello, la mayoría de los sectores industriales mantienen un efecto intrasectorial estable y, en los más intensivos, reducen la IE total, siendo los metales básicos el principal responsable de la reducción (disminuye por este efecto la IE total en -10,4 tep/M€. Finalmente, el incremento del consumo energético del sector terciario aumenta en 5,7 tep/M€ la IE total.

**Gráfico 3.13. Efecto intrasectorial por sectores en España (1980=100).**

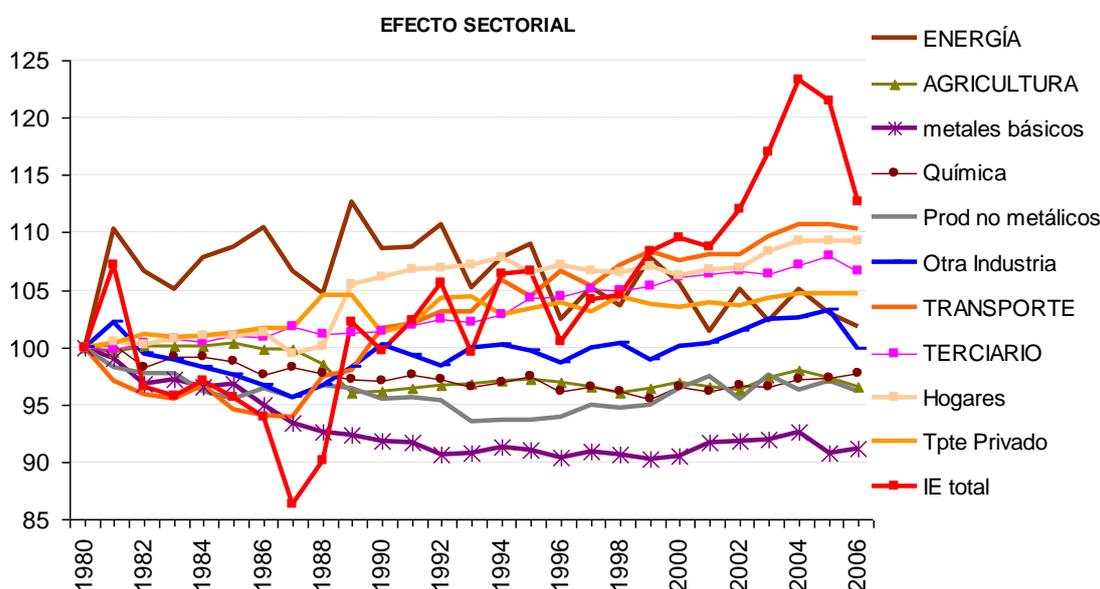


Fuente: Elaboración propia.

<sup>20</sup> En la crisis anterior (1973) el Gobierno pospuso la adaptación de la economía al nuevo escenario de precios energéticos por cuestiones políticas y sociales, por lo que el impacto fue mayor en España en esta segunda crisis

Por último, resulta esclarecedor analizar la influencia de cada sector - considerando conjuntamente los dos efectos, estructural e intrasectorial – sobre la IE. En el gráfico 3.14 se muestra la evolución entre 1980 y 2006 de este efecto conjunto, que se ha mostrado en la cuarta columna de la tabla 3.9, y se ha transformado en índice con 1980 como base 100. En algunos casos los efectos se compensan, como es el caso de la energía y otros sectores cobran más relevancia como es el caso del terciario, los hogares y el transporte, tanto privado como de mercancías, que empujan al alza el indicador. Finalmente, se verá como los sectores industriales son los que han introducido mayores mejoras, siendo el caso de los metales básicos (siderurgia y metalurgia) el más destacable, aunque se compensen parcialmente con otros sectores.

**Gráfico 3.14. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética en España (1980=100).**



Fuente: Elaboración propia.

La evolución de la IE en 2006 transforma radicalmente el análisis de la IE y modifica claramente la evolución como se ha podido ver en los gráficos anteriores. En 2006 la reducción del consumo energético y el crecimiento del PIB han resultado en el desacoplamiento absoluto de la IE entre 2005 y 2006. Así, en un solo año la IE se reduce en 8,7 tep/M€. Los sectores responsables de esa evolución fueron el sector industrial (40% del total), el sector residencial (18%) y el sector terciario (15%), como se aprecia en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10. Desagregación de la intensidad energética en España entre 2005 y 2006.**

	Efecto Estructura	Efecto Intrasectorial	Efecto Residencial	Efecto conjunto	%
Energía	-1,0	-0,1		-1,1	12%
AGRICULTURA	-0,1	-0,7		-0,8	9%
INDUSTRIA	-0,2	-3,3		-3,5	40%
metales básicos	0,1	0,4		0,5	-5%
Química	-0,1	0,5		0,4	-5%
Prod no metálicos	0,0	-0,9		-0,9	11%
Mat Tpte	0,1	-0,5		-0,5	5%
Minería	0,0	-0,2		-0,2	2%
Alimentación	-0,3	-0,1		-0,3	4%
Papel	-0,2	-0,1		-0,3	3%
Madera	0,0	0,0		0,0	0%
Construcción	0,0	-0,2		-0,2	2%
Textil	-0,1	-0,1		-0,3	3%
Otros	0,1	-1,8		-1,7	20%
TRANSPORTE	0,1	-0,4		-0,3	3%
TERCIARIO	0,0	-1,3		-1,3	15%
Residencial			-1,5	-1,5	18%
Tpte residencial			-0,2	-0,2	2%
<b>TOTAL</b>	<b>-1,4</b>	<b>-5,5</b>	<b>-1,8</b>	<b>-8,7</b>	

Unidad: tep/M€ constantes de 1995.

Fuente: Elaboración propia.

Buena parte de la reducción del consumo energético se debió a unas temperaturas más benignas que afectan a los sectores residencial, terciario, y en menor medida, a la industria. Pero también podrían empezarse a ver indicios de desmaterialización en la industria, que podría estar transitando hacia actividades de mayor valor añadido, y los servicios, que aumentan su participación en el PIB. Los datos provisionales para 2007 muestran que el consumo energético crece un 1,7%, cifra bastante inferior al crecimiento de la economía en ese año (3,7% en precios corrientes), por lo que la IE mantiene su senda de reducción. El descenso de la producción industrial en 2008 y 2009 reducirá probablemente el consumo energético y su efecto en la IE dependerá de si esa reducción es mayor a la del PIB.

Las principales conclusiones del análisis de la IE entre 1980 y 2006 son:

1. Las familias son en buena parte responsables del incremento de la IE, puesto que entre 1997 y 2006 la población ha aumentado en 5 millones de personas, la renta per cápita ha crecido a un ritmo mayor y el equipamiento doméstico y la propiedad de vehículos han convergido hacia niveles europeos. Todo ello ha llevado a que las familias provoquen el incremento de la IE en 12,3 tep/M€ por el transporte y el consumo en los hogares. El consumo energético de las familias españolas es todavía inferior a la media europea por lo que es previsible un futuro crecimiento, aunque presumiblemente más moderado. En

el capítulo 4 se completará esta conclusión al analizar cómo influyen en los consumos indirectos de las familias en su contribución a la IE.

2. El transporte de mercancías tiene una IE muy alta, por lo que cualquier acción para mejorar su eficiencia energética tendrá un efecto muy importante sobre el indicador total. En este sector es muy significativo el incremento de la demanda de movilidad (156% entre 1980 y 2006) lo cual se explica por la creciente internacionalización de los mercados, la fuerte actividad de la construcción y las exportaciones y comercio de productos agrícolas y de alimentación y, la demanda de suministros rápidos a distancias cortas. Este aumento de la movilidad no se ha visto compensado por una mejora de la eficiencia de los vehículos ni un cambio a modos más eficientes. Dada la importancia de este sector se dedica el capítulo 8 a su análisis.
3. La industria ha tenido un buen comportamiento, mejorando su eficiencia energética y reduciendo la IE total. No obstante no lo ha hecho tanto como lo han hecho otros países europeos debido a una concentración de actividad importante en las actividades industriales más intensivas en energía (metales básicos y minerales no metálicos). Además, se debe analizar cómo han evolucionado los consumos indirectos de estos sectores, como se realizará en el capítulo siguiente.
4. El sector terciario ha experimentado un fuerte crecimiento continuado de su actividad y de su consumo energético y a pesar de su IE reducida impulsa considerablemente la IE total. En el capítulo siguiente se comprobará si la inclusión de sus consumos indirectos intensifica la importancia de este sector.

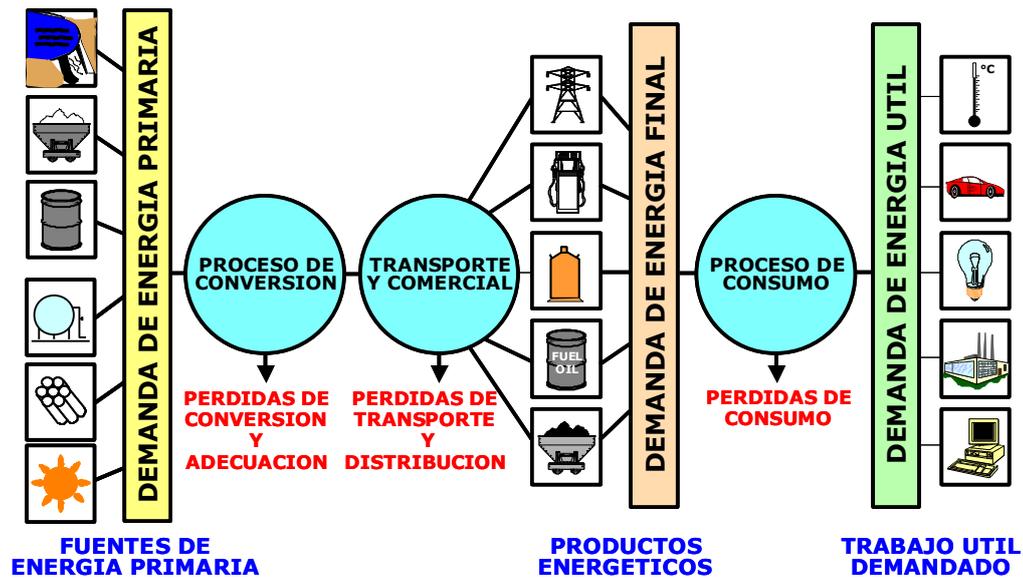
### **3.5.3. Análisis de la influencia del sector eléctrico**

Para la comprensión correcta de esta desagregación de la IE total, que incluye el sector energético, hay que entender bien los procesos de conversión de energía primaria en final. En estadística energética la energía primaria se define como la energía que se encuentra en la naturaleza y que no ha estado sujeta a ninguna conversión o proceso de transformación. Los balances energéticos de la IEA incluyen como energía primaria el petróleo bruto, el gas natural, el carbón, las energías renovables (solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa, etc.) y nuclear.<sup>21</sup> La energía secundaria es una fuente energética que ha sido transformada desde otra fuente energética (tanto primaria como secundaria). Entre las energías secundarias destacan la electricidad y los productos petrolíferos como la gasolina.

---

<sup>21</sup> En esta tesis se utilizan los balances energéticos agregados tal y como los publica la IEA. Existe también la posibilidad de desagregar la información más, como es el caso de los distintos tipos de carbón.

**Cuadro 3.4. Energía primaria, final y útil.**



Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se muestra en el cuadro 3.3, los consumidores finales (residencial, transporte, industria) demandan energía útil para sus fábricas, ordenadores, vehículos, iluminación y calefacción, entre otros, en forma de energía primaria (carbón, gas, etc.) o secundaria (electricidad, gasolina, etc.). Para producir la energía secundaria se ha tenido que utilizar energía primaria y a veces también secundaria (por ejemplo el fuel óleo para generar electricidad), por eso se le denomina proceso de transformación. Las refinerías obtienen productos petrolíferos a partir del petróleo crudo y las compañías eléctricas producen electricidad a partir de gas, carbón, nuclear, agua, sol, viento, etc.

La cuestión clave es cómo se traducen los GWh suministrados como energía final en energía primaria. La mayor parte de los análisis consideran las eficiencias asignadas a las tecnologías y combustibles definidos por la IEA (clasificación también utilizada por EUROSTAT) que se reflejan en la tabla 3.11. La metodología de la IEA está basada en el principio de eficiencia, por el que la energía primaria se calcula dividiendo la energía final por el rendimiento del proceso. Así, en los balances energéticos de la IEA se calcula la energía primaria de la generación de electricidad multiplicando los GWh producidos por su factor de conversión a tep y dividiéndolo por el factor de eficiencia correspondiente. De esta manera se considera que la eficiencia de las tecnologías renovables es del 100%, ya que no consumen combustible en su producción, mientras que la energía nuclear tiene un rendimiento térmico medio aceptado del 33% y, en general, la combustión térmica tiene una eficiencia entre el 33% y el 40%. La tecnología de los ciclos combinados de gas y cogeneración ha logrado incrementar la eficiencia en la producción de electricidad hasta el 56%.

**Tabla 3.11. Factores de eficiencia en la generación de electricidad.**

Eficiencia en la generación de electricidad	
<b>Carbón</b>	36%
<b>Prod. Petrolíferos</b>	40%
<b>Gas</b>	56%
<b>Nuclear</b>	33%
<b>Hidráulica</b>	100%
<b>Eólica y Solar</b>	100%
<b>Biomasa</b>	33%

*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a)*

Existen otros métodos para calcular la energía primaria como es el método de “sustitución”, por el que se calcula la energía primaria de las energías renovables con el factor de eficiencia de la generación térmica. De esta manera las energías renovables aparecen con una participación mayor en la producción energética total (TPES) de un país. No obstante, este método también ha sido criticado por la arbitrariedad a la hora de elegir el factor de eficiencia.

En definitiva, en las cifras de la IE total hay cierta arbitrariedad porque las distintas energías primarias no son comparables (carácter renovable, disponibilidad, precio, etc.). Esta arbitrariedad se evita si se analiza la evolución de la IE final, pero se pierde información valiosa al no incluir el consumo energético de los sectores transformadores.

Las consecuencias de la utilización de la metodología de la IEA en el análisis de la IE son:

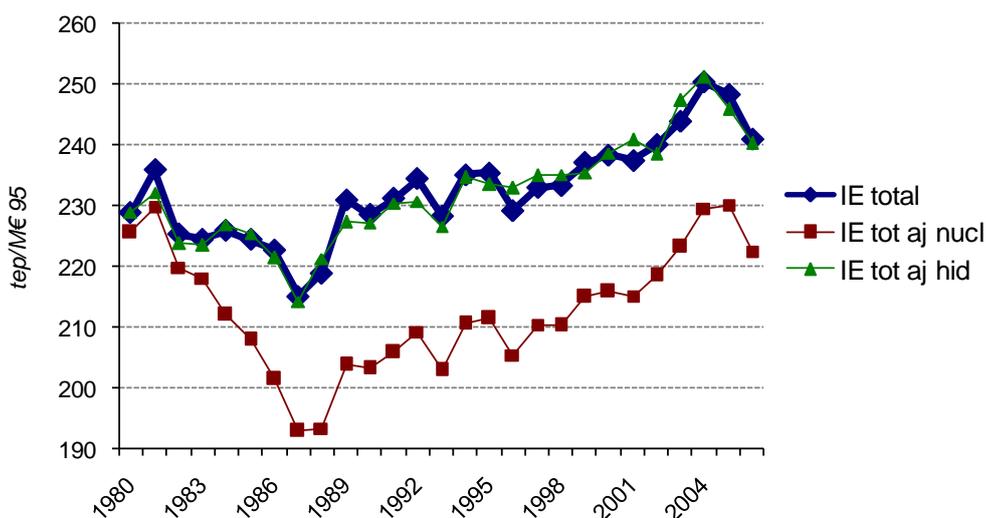
- La existencia de grandes aprovechamientos hidráulicos se traduce en una menor IE en los países. En algunos países, la volatilidad de la hidraulicidad influye en las comparaciones interanuales de la IE.
- Los países con un alto porcentaje de generación nuclear tendrán elevados ratios de IE primaria, como sucede con Francia (78% de la generación y 45,5% de la oferta de energía total) mostrando unos niveles de IE primaria elevados (gráfico 3.1). Considerar la eficiencia térmica de esta generación (33%) para calcular la energía primaria es cuestionable en el sentido que el uranio es un mineral que no está sometido a la misma problemática que los hidrocarburos, por lo que no son puramente equiparables, como tampoco lo es la energía hidráulica. Como la energía nuclear por el momento no está sometida a las mismas presiones económicas y geopolíticas de otros combustibles fósiles, esta convención puede llevar a interpretaciones erróneas cuando se utiliza el indicador de IE para medir la seguridad de suministro o las repercusiones medioambientales.

- Aunque las energías renovables tienen una eficiencia del 100% según la metodología de la IEA, el recurso (viento, sol) no está siempre disponible al 100%. Así, las horas medias anuales de funcionamiento de un parque eólico se sitúan en torno a las 2.000 a 2.500 horas, frente a las 8.000 horas de disponibilidad típica de cualquier planta térmica. Esto significa que para producir un Kwh. de electricidad se necesita más potencia eólica o solar que en las centrales térmicas. La potencia no influye en la IE, pero sí lo hace en el coste de inversión de las tecnologías renovables y en las primas que a éstas se le conceden. Cualquier mejora tecnológica que permita aumentar las horas de funcionamiento, mejorará la eficiencia del sistema, puesto que la regulación suele obligar a la compra de toda la energía renovable producida. Por otro lado, la interrumpibilidad de estas fuentes energéticas implica la necesidad de disponer de capacidad adicional para asegurar el suministro eléctrico y/o de métodos avanzados de gestión de la demanda.

Si se tienen en cuenta estos aspectos en la evolución de la IE española se concluye que:

- La generación de electricidad en España es ligeramente más eficiente que la media europea debido, en parte, al significativo porcentaje de la generación hidráulica sobre el total. A medida que la demanda de electricidad siga creciendo la contribución relativa de la hidráulica se reducirá, puesto que ya no existen emplazamientos para grandes centrales hidráulicas. Por otro lado, la volatilidad del régimen hidráulico español apenas afecta a la IE total, tal y como se muestra en el gráfico 3.15.

**Gráfico 3.15. Ajuste de la intensidad energética considerando hidráulica media y eficiencia del 100% en la generación nuclear.**



Nota: El ajuste de la IE para la energía nuclear (IE tot aj nucl) se realiza asignando una eficiencia térmica del 100% en vez del 33% dictado por las convenciones internacionales. El ajuste de la generación

hidroeléctrica (IE tot aj hid) se ha realizado recalculando la IE con una hidráulicidad media y asignando la diferencia de producción a la generación con carbón.

*Fuente: Elaboración propia.*

- En la década de los 80 entraron en funcionamiento la mayor parte de las centrales nucleares españolas, que pasaron de una capacidad de 1,09 GW en 1980 a 6,97 GW en 1990 y crecen ligeramente en los 90 hasta los 7,7 GW en 2007. Estas centrales en general funcionan la mayor parte del año con interrupciones mínimas debido a sus características técnicas. Como a esta tecnología se le asigna una eficiencia del 33%, toda la energía que produce aumenta el efecto intrasectorial sobre la IE total y reduce la eficiencia media del parque de generación. En el gráfico 3.15 se muestra cómo afecta a la IE total la consideración de una eficiencia del 100% de la generación nuclear: al aplicar este ajuste la IE total se reduce en 19 tep respecto a la IE sin ajuste, con un valor de 223 tep/M€. Asimismo, al rehacer con los nuevos valores el ejercicio de desagregación (tabla 3.12), el efecto intrasectorial del sector energético reduce la IE en -11,3 tep/M€ cuando en la desagregación sin ajuste lo aumentaba en 4,4 tep/M€ (tabla 3.9). La conclusión es que los supuestos utilizados al estimar el consumo de energía primaria con las tecnologías renovables y con la nuclear tienen un efecto contable significativo.

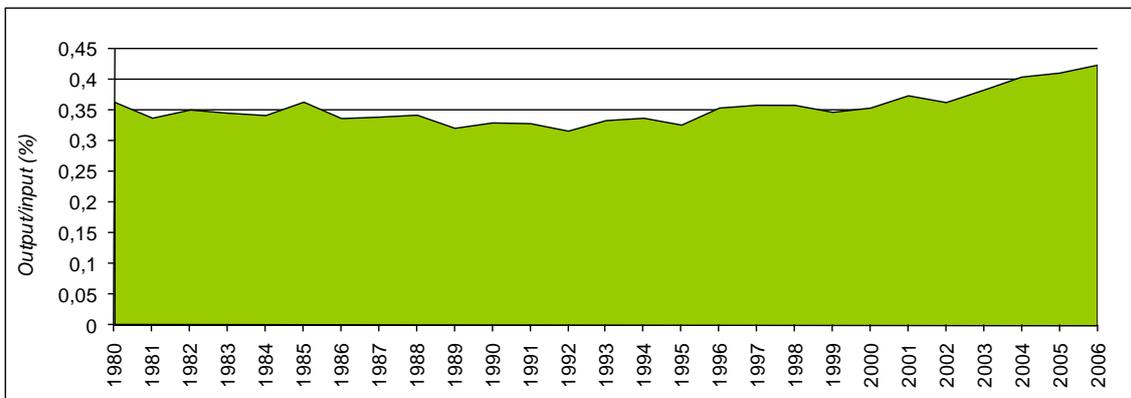
**Tabla 3.12. Desagregación de la intensidad energética con ajuste de la generación nuclear entre 1980 y 2006 (tep/M€).**

	<b>Efecto Estructura</b>	<b>Efecto Intrasectorial</b>	<b>Efecto Residencial</b>	<b>Efecto conjunto</b>
Energía	-2,2	-11,3		-13,5
<b>AGRICULTURA</b>	-3,2	-0,2		-3,4
<b>INDUSTRIA</b>	-5,6	-9,4		-15,1
Metales básicos	1,6	-10,4		-8,8
Química	0,3	-2,5		-2,2
Prod no metálicos	-1,7	-2,2		-3,8
Mat Tpte	-0,5	0,9		0,4
Minería	-1,1	0,5		-0,6
Alimentación	-1,7	0,7		-0,9
Papel	-0,4	0,2		-0,2
Madera	-0,5	1,1		0,6
Construcción	0,1	0,2		0,3
Textil	-2,0	0,8		-1,2
Otros	0,6	0,9		1,4
<b>TRANSPORTE</b>	-0,6	11,0		10,4
<b>TERCIARIO</b>	1,0	5,7		6,7
Hogares			7,7	7,7
Tpte residencial			4,7	4,7
<b>TOTAL</b>	<b>-10,3</b>	<b>-4,6</b>	<b>12,3</b>	<b>-2,6</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

- Por lo que se refiere a la influencia de la energía nuclear en la eficiencia del parque de generación, la entrada en funcionamiento de las centrales nucleares en los 80 hace que la eficiencia total (calculada como cociente entre el output e input) se mantenga en torno al 36%, pues en esa década los incrementos de demanda se abastecieron con esta energía (gráfico 3.16). A mediados de los 90, los incrementos de la demanda de electricidad se abastecen con generación con carbón o fuel (eficiencia entre 35% y 40%) y más tarde por gas y renovables (con una eficiencia del 56% y 100% respectivamente) lo cual ha mejorado la eficiencia global del sector eléctrico. La generación hidráulica añade volatilidad a la eficiencia del sistema: en años secos<sup>22</sup> (1989, 1992, 1999, 2000 y 2002) la eficiencia se reduce considerablemente (35,6%, 35%, 38,8%, 39,95% y 39,4% respectivamente).

**Gráfico 3.16. Eficiencia del sector eléctrico.**



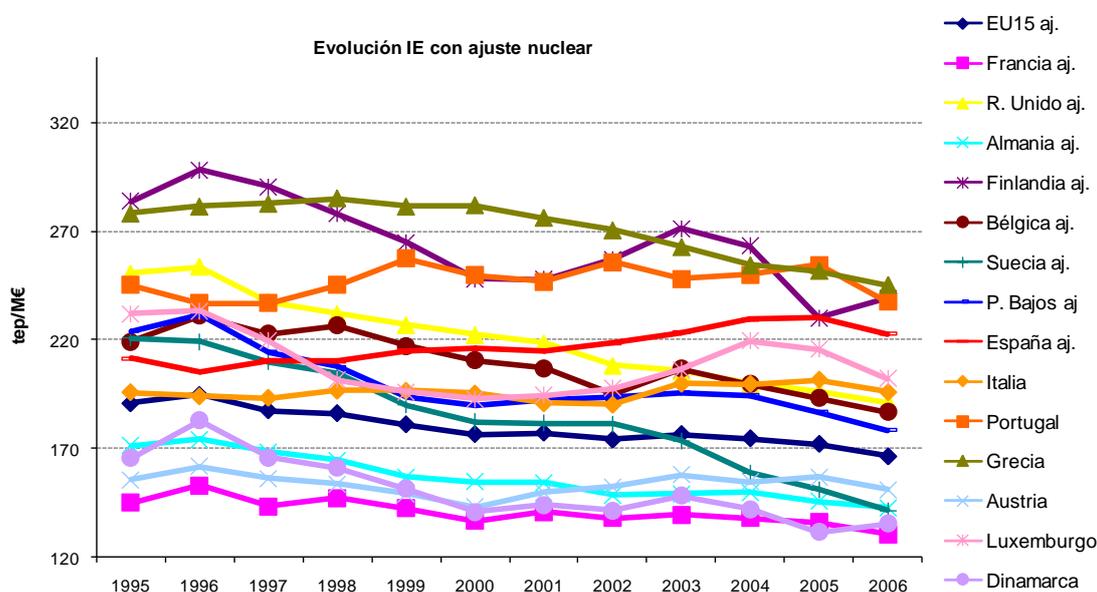
*Fuente: Elaboración propia.*

- En cuanto a la energía eólica, su penetración ha sido muy importante a partir del año 1999, con una producción superior a 27.000 GWh en el año 2006, aportando así el 8,9% de la generación eléctrica en España.

En el gráfico 3.17 se muestran los resultados de ajustar la energía nuclear a los países de la UE15, considerando que la generación nuclear tiene una eficiencia del 100% en vez del 33% establecido por la IEA.

<sup>22</sup> Años secos son años de baja pluviosidad. En este caso se considera aquellos en los que la generación hidráulica está por debajo del 15% del total, aunque obviamente conforme aumenta la demanda la contribución de esta tecnología se reduce ante la imposibilidad de construir otras centrales hidráulicas de tamaño significativo.

**Gráfico 3.17. Comparación de las intensidades energéticas con ajuste de la energía nuclear.**



*Fuente: Elaboración propia*

El ajuste favorece especialmente a Francia, que pasa a situarse como el país con mejor IE de Europa, por la predominancia de la energía nuclear en su balanza energética. En el caso español, aunque mejora el nivel de IE, se sigue situando entre los países con mayor IE de Europa y a similar distancia de la UE15.

Una de las principales conclusiones del análisis del sector energético es que los supuestos que se hacen respecto a la energía primaria consumida producen grandes cambios en los indicadores, que hay que tener en cuenta cuidadosamente a la hora de establecer las conclusiones de un análisis pormenorizado de la IE.

### 3.6. Conclusiones

En este capítulo se han presentado las metodologías que mejor se adaptan al primer objetivo de descripción de la evolución de la IE en España entre 1980 y 2006 y que permiten realizar una comparación con la media europea. Se ha elegido uno de los modelos propuestos por la literatura y se ha adaptado y ampliado para poder utilizar toda la información disponible.

Hasta donde la autora conoce, ésta es la primera vez que se realiza este ejercicio para el caso español, que abarca todos los sectores productivos de la economía y los consumos de las familias, lo cual ha permitido a su vez cuestionar algunas de las tesis sobre la IE y mostrar a través de los datos disponibles por que en muchos casos el

indicador puede llevar a una interpretación errónea. Esto es importante, puesto que el indicador se utiliza para medir la sostenibilidad energética de los países, para comparar el grado de desarrollo de las naciones o como indicador estructural, por lo que una aportación importante en este capítulo es poner en evidencia las limitaciones del indicador, que se pueden resumir en cuatro:

1. **Energía nuclear.** La mitad de los países de la UE15 producen electricidad con esta fuente energética, países que ven penalizada su IE cuando se adopta la Convención de la IEA sobre la eficiencia de la generación nuclear (33%). Así, por cada 33 tep de energía final producidos con esta tecnología se establece que se han necesitado consumir 100 tep. Dadas las características de esta tecnología, las centrales funcionan la mayor parte del año a pleno rendimiento, lo que implica altos niveles de producción por capacidad instalada y como esta tecnología es supuestamente más ineficiente, empuja a la baja la eficiencia energética de los países que cuentan con ella. Esto afecta muy significativamente a la evolución de la IE en España puesto que en los ochenta entran en funcionamiento la mayor parte de las centrales nucleares españolas. Si se considerase una eficiencia del 100% la IE total se reduciría de 241 tep a 223 tep y en el análisis del período la IE se reduciría en un 2,6 tep/M€ en vez de aumentar en 12,7 tep/M€. No obstante este ajuste apenas reduce las distancias con otros países europeos.
2. **Consumo final.** Muchos estudios sobre la IE analizan tan solo el consumo final de los sectores y la mayor parte de los estudios se centran en el análisis de la IE industrial, lo cual puede llevar a conclusiones erróneas. Así, cualquier sector que sustituye combustibles primarios (por ejemplo fuel o carbón por electricidad) mostrará una mejora de la IE porque las pérdidas de transformación energética se trasladan al sector eléctrico, que no se analiza puesto que no es un sector consumidor final. Por ello en este capítulo se han analizado también los sectores transformadores. Otro proveedor de servicios energéticos es el transporte, que debería asociarse a las mercancías transportadas. En el próximo capítulo se aportará una metodología que permite distribuir los servicios energéticos entre los sectores.
3. **Balanza comercial.** Si se tiene en cuenta que todos los productos y servicios tienen “enterrada” una cantidad de energía utilizada para su producción y venta, resulta obvio que algunos países pueden externalizar aquellas actividades más intensivas en energía presentando así un menor consumo energético por VAB. El análisis de estas importaciones puede llevar a importantes conclusiones, pero exceden del objetivo de esta tesis. Desde el punto de vista estrictamente energético, las importaciones y exportaciones de electricidad son las que más influyen en la IE de algunos países (Bélgica, Italia).

4. **Economía sumergida.** Aunque los países estiman en la contabilidad nacional como PIB una parte de esa producción no declarada, se ha demostrado a lo largo del tiempo que la economía sumergida suele quedar “escondida” por lo que se está sobrevalorando el consumo energético con relación al PIB. Esto puede ser bastante importante para el caso español al estar la economía sumergida muy relacionada con los sectores que están haciendo crecer el PIB en el país: turismo y construcción.

A pesar de estas limitaciones el análisis de desagregación del ratio de la IE permite analizar la evolución en España, identificar las principales diferencias con Europa e identificar de manera provisional los sectores clave en España. En el capítulo 4 se propondrá una metodología diferente para analizar la IE de los países, por lo que algunas conclusiones de este capítulo son provisionales. En la evolución del indicador de la IE influye la estructura económica y la eficiencia energética. La mayor parte de las conclusiones se centran en el primer aspecto, puesto que la agregación de actividades en la contabilidad nacional y en los balances energéticos impide un análisis en profundidad de la eficiencia energética de las actividades, para lo que sería necesario recurrir a un análisis de abajo arriba (*bottom-up*), como se ha mostrado en la revisión de la literatura existente.

La IE española en 2006 se situaba un 29% por encima de la de la UE15. Entre 1980 y 2006 la IE sólo aumentó un 6% en España gracias a una reducción de la IE entre 2005 y 2006 del 3,5%. Los factores que explican esta evolución han sido:

1. El transporte derivado de las crecientes necesidades de movilidad de mercancías y viajeros es responsable de un incremento de la IE de 10,4 tep/M€. El transporte privado también impulsa el ratio en 4,7 tep/M€. Para poder comprender los factores que influyen en esta evolución se necesita conocer mejor cuáles son los sectores que demandan transporte y para qué lo hacen como se verá en los capítulos 4 y 8.
2. El consumo energético de los hogares españoles provoca un incremento de la IE de 7,7 tep/M€, debido al aumento del empleo y la renta per cápita, que han impulsado la compra de viviendas y electrodomésticos. Los consumos energéticos son inferiores a la media europea por las menores necesidades de calefacción, en donde los europeos han conseguido importantes mejoras gracias a la cogeneración distribuida. La IE española convergerá hacia niveles europeos porque el potencial de sustitución y mejora de los sistemas de calefacción y aislamientos es limitado y por los cambios socioculturales de una sociedad española con menos tiempo para las tareas domésticas, que demanda electrodomésticos más rápidos y sofisticados. Esta conclusión se completará con el análisis propuesto en los capítulos 4 y 7.

3. La reducción de la IE en el sector eléctrico está detrás del descenso de la IE en la UE15, principalmente por la penetración de las renovables en Alemania. En España su evolución es también favorable, pero no tanto debido al fuerte incremento de la demanda de electricidad. La cuestión que interesa averiguar es si ese incremento de la demanda se debe a la sustitución de otros combustibles y qué sectores la impulsan, como se verá en el capítulo 4.
4. La industria ha tenido un buen comportamiento en general entre 1980 y 2006, aunque desde 1995 muestra un repunte de su IE. Los mayores avances se producen en las actividades industriales más intensivas en energía -metales básicos y minerales no metálicos- pero no han sido tan buenos como los de la UE15 y se constituye como uno de los sectores responsables de la diferencia con la UE15. Además, estos sectores demandan crecientes cantidades de electricidad y de movilidad, por lo que estas conclusiones son provisionales.
  - En los metales básicos la mejora de IE se debe a la sustitución de combustibles por electricidad en sus procesos de producción, por lo que las pérdidas se trasladan al sector eléctrico. La cuestión es que los países europeos que han contado con una actividad siderúrgica importante han reducido su consumo energético a lo largo de estos años y, al mismo tiempo, se han concentrado en actividades de mayor valor añadido.
  - Uno de los factores que subyace en el comportamiento diferencial de la IE de la industria española es el mayor peso de la construcción y su fuerte crecimiento en los últimos años. Junto con los metales básicos, los minerales no metálicos es la rama industrial más intensiva en energía, y su producción se destina principalmente a la construcción de infraestructuras y viviendas, que está influida por el desarrollo económico de los países y los límites geográficos. La construcción de infraestructuras ha sido notable desde finales de los ochenta, lo cual ha originado un incremento de la movilidad en España. En cuanto a las viviendas, la diferencia con los países europeos se produce principalmente en la compra de segunda vivienda por parte de españoles y extranjeros.
5. El sector terciario ha experimentado un fuerte crecimiento de su actividad y de su consumo energético, aunque mantiene una IE reducida y ligeramente inferior a la de la UE15. No obstante, España se ha especializado en actividades como la hostelería y el comercio, que son más intensivas en el consumo de energía, y su crecimiento está influido por el fuerte peso del turismo en nuestra economía. En el capítulo 4 se analizará con mayor detalle el sector.

Por todo ello, una primera conclusión de este análisis es que la IE es víctima del modelo económico español, donde la construcción masiva y el turismo de bajo coste han proporcionado crecimiento económico espectacular, pero implican fuertes

demandas de energía. Mientras, las economías más avanzadas en la UE15 se han especializado en actividades de mayor valor añadido.

Una segunda conclusión generalizada a nivel europeo, es que la electricidad y el transporte se han convertido en los principales proveedores de servicios energéticos, esto es, el servicio de dar electricidad para consumos finales (iluminación, calefacción, etc.) y de dar movilidad a las familias y empresas. En ambos sectores las IE son muy altas, por lo que cualquier acción para mejorar su eficiencia energética tendrá un efecto muy importante sobre la IE total.



## ***4. Inclusión de los consumos indirectos de los sectores en el análisis de la intensidad energética***

4.1. Introducción.....	124
4.2. Estimación de un nuevo balance energético final.....	126
4.3. Análisis de la nueva intensidad energética.....	139
4.4. Conclusiones .....	158

## 4.1. Introducción

Dos de las conclusiones del capítulo anterior son que el transporte y el sector energético (principalmente el eléctrico) son los sectores con mayor IE, y condicionan enormemente la evolución y el nivel de las IE de los países y, en particular, la IE española. Estos dos sectores son los dos proveedores de servicios energéticos por antonomasia y para ello consumen grandes cantidades de energía primaria. Los consumidores, por su parte, apenas consumen directamente energía primaria y satisfacen sus necesidades energéticas sobre todo con productos finales, como la electricidad y los carburantes.

La mayor parte de los estudios sobre la IE analizan su evolución para algunos sectores, incluyendo sólo los consumos energéticos directos. Los consumos directos son los consumos de fuentes energéticas que se contabilizan en los balances energéticos para cada sector. En el caso del consumo de electricidad los balances energéticos no recogen el consumo de otras fuentes energéticas necesario para la generación de electricidad ni las pérdidas de distribución y transporte. Estos consumos se contabilizan como consumos del sector energético y en esta tesis doctoral se calcula su IE con el VAB del sector, por ello el sector energético presenta unos ratios muy elevados. En el caso del transporte, los sectores utilizan el transporte (tanto por cuenta propia como por cuenta ajena) para mover mercancías o personas. Pero el consumo energético se clasifica en los balances energéticos bajo la categoría de transporte (véase apartado 3.3.2 para un mayor detalle de las definiciones de las estadísticas energéticas). La falta de una recopilación de las estadísticas de los consumos de transporte en los balances energéticos ha impedido que se pueda asignar a los sectores su consumo de transporte y por ello existe un gran desconocimiento sobre el transporte desde una perspectiva energética. El consumo de electricidad y de transporte es un consumo indirecto de los sectores, como también lo es el consumo de cualquier fuente energética necesaria para producir otra fuente energética (por ejemplo la transformación de carbón en combustible de automoción).

En algunas industrias (siderurgia) o usos (calefacción) la utilización de electricidad en vez de otro combustible como el carbón reduce el nivel de IE, puesto que su consumo energético primario directo no incluye los consumos necesarios para generar la electricidad utilizada (véase apartado 3.5.3 para un mayor detalle sobre los procesos de transformación su incidencia en la IE). Por ello algunas de las conclusiones del capítulo anterior fueron provisionales a la espera de averiguar si la contabilización en cada sector de sus consumos indirectos cambia la aportación de cada sector a la IE española.

Por tanto, parece relevante completar ese análisis con un estudio de cómo afectan los consumos indirectos a la IE de los sectores. De esta forma se podrá identificar mejor cuáles son los sectores clave que arrastran el consumo de energía en otros sectores.

El objetivo de este capítulo es analizar el consumo energético directo e indirecto de todos los sectores productivos y del sector residencial. Para ello se repartirá el consumo del transporte por cada sector que lo demande y se asignarán los consumos energéticos primarios que han sido necesarios para la provisión de servicios energéticos (electricidad y carburantes) a cada sector consumidor. Con esto se calculará un nuevo balance energético ajustado y se analizará la evolución de las nuevas IE.

Este enfoque es novedoso y guarda relación con el objetivo de cuantificar todo el consumo energético o las emisiones de gases de efecto invernadero de sectores o empresas. Existen varias instituciones que están trabajando en la actualidad en consensuar un estándar para la medición de las emisiones directas e indirectas de las empresas. Este es un ejercicio que puede ser útil en ese marco, porque puede realizarse a partir de la contabilidad nacional y los balances energéticos. No obstante, un análisis de “abajo-arriba” y personalizado por empresa arrojará resultados más cercanos a la realidad.

Los motivos para investigar y conocer la “huella energética o ambiental” de las empresas son diversos. Por un lado las empresas desean conocer las áreas de mejora de la eficiencia energética por los ahorros económicos que pueden generar, para reducir riesgos energéticos y para obtener ventajas comparativas en su sector. Por otro, muchas empresas se quieren diferenciar del resto por tener un comportamiento más eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Finalmente, otro de los motivos puede ser la diferenciación de sus productos, cuando estos incurren en una menor huella energética.

El ejercicio que aquí se realiza está enfocado hacia el área de política energética. Los datos utilizados y la periodicidad de su publicación permiten a los Gobiernos identificar los sectores clave a los que destinar políticas de eficiencia energética y hacerlas más efectivas.

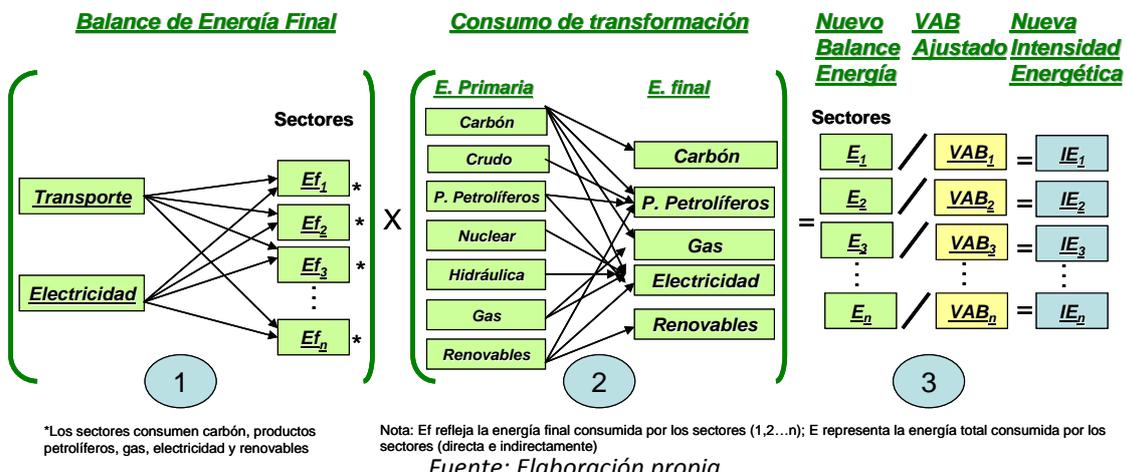
Este capítulo se estructura de la siguiente forma. En primer lugar se presenta la metodología para la estimación de un nuevo balance energético que incluya los consumos directos e indirectos. Para ello se reparten, en primer lugar, los consumos de transporte y después se asignan los consumos de los sectores transformadores. En segundo lugar se calcula la nueva IE y se realiza un análisis de desagregación del nuevo ratio. En tercer lugar se analiza con mayor detalle la evolución de las ramas de actividad vinculadas a la construcción (metales básicos y minerales no metálicos) y al sector servicios por su influencia presente y futura en el indicador y en las divergencias

con Europa. Finalmente, se presentan las conclusiones del análisis incluyendo las conclusiones definitivas del capítulo 3.

## 4.2. Estimación de un nuevo balance energético final

La metodología que se utiliza para la asignación del consumo energético indirecto a los sectores consta de tres pasos, que se ilustran en el cuadro 4.1. En el primero se calcula el nuevo balance de energía final, repartiendo el consumo final de electricidad y transporte a cada sector productivo y al sector residencial. En el segundo paso se atribuyen los consumos de energía primaria que se producen en la transformación de la energía final y se calcula un balance de energía primaria en el que sólo figuran los sectores consumidores finales (esto es, se excluyen las refinerías, el sector eléctrico y el transporte). En el tercero se calculan los nuevos ratios de IE y se realiza el ejercicio de desagregación de índices para descubrir cuáles son los sectores que impulsan la IE en España, completando así el ejercicio realizado en el capítulo anterior.

**Cuadro 4.1. Metodología de cálculo de la intensidad energética primaria de los sectores**



Hasta donde la autora conoce tan solo Alcántara y Padilla (2002) han utilizado un enfoque similar para analizar la IE. La principal diferencia con este análisis es que no desagregan el consumo del transporte, por lo que dejan un sector clave sin explicar.

### 4.2.1. Asignación del consumo energético del transporte

Para realizar este ejercicio se deben hacer algunos ajustes en los balances energéticos de la IEA. Estos se dividen en dos apartados (tabla 4.1):

- La oferta energética (TPES) es la suma de la producción del país y de las importaciones menos las exportaciones, los consumos de transporte marítimo internacional y la variación de existencias. El balance energético lo componen energías primarias y secundarias.
- La demanda energética que se produce en el sector de transformación y en el consumo final y es igual a la oferta total:
  - El sector de transformación incluye distintos procesos (refino, generación eléctrica, gasificación, etc.), distintos tipos de insumos (primarios y secundarios) y con distintos orígenes (importados o producidos en el país). La transformación energética del crudo en productos petrolíferos tiene un consumo energético reducido. Sin embargo el consumo energético primario necesario para producir una unidad de electricidad es muy elevado (1 tep para conseguir 0,45 tep de electricidad).
  - El consumo final (TFC) se produce en distintos sectores: la agricultura, la industria (que se desagrega en 11 ramas industriales), el transporte, el terciario, los hogares, el transporte privado y los usos no energéticos. Como se ha comentado en el capítulo anterior estos últimos no se tienen en cuenta. Los consumidores finales demandan sobre todo energía secundaria, esto es, productos petrolíferos y electricidad.

Los balances energéticos consideran el transporte como un sector productivo. Para calcular el nuevo balance energético final se estima la demanda de transporte de cada sector productivo y se le asigna proporcionalmente el consumo energético asociado. Para el sector eléctrico las propias estadísticas ofrecen ese desglose en los consumos finales. En la sección siguiente se asignarán los consumos de la transformación de energía primaria en final. La principal dificultad para repartir el consumo energético del transporte es que las estadísticas de la IEA no muestran la separación entre el transporte que realizan los ciudadanos (en automóvil) de aquel que se realiza para el transporte de mercancías y pasajeros (autobuses o trenes). Para el caso español se disponen las estadísticas del IDAE de transporte en España que permiten realizar este análisis desagregado y es una de las aportaciones de esta tesis, puesto que hasta donde la autora conoce no han sido consideradas por otros investigadores y arrojan mucha luz en un sector desconocido desde la perspectiva de la IE.

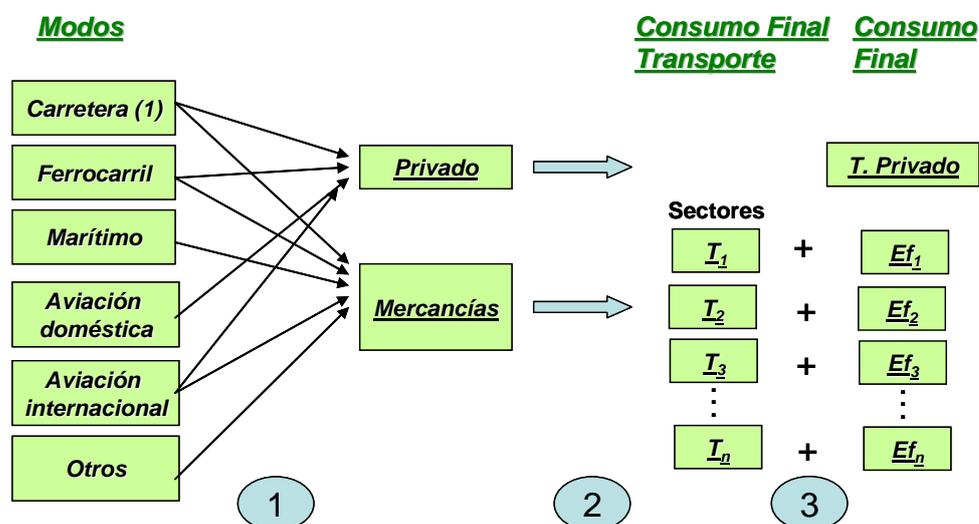
**Tabla 4.1. Balance energético reducido para España en 2006 (ktep).**

	Prod.									
	Carbón	Crudo	Petróleo	Gas	Nuclear	Hidráulica	Renovables	Biomasa	Electricidad	Total
Producción	6.049	142	0	55	15.669	2.198	2.073	5.172	0	31.358
Importaciones	14.263	62.387	27.214	31.419	0	0	0	0	760	136.043
Exportaciones	-757	0	-9.916	0	0	0	0	0	-1.041	-11.714
Bunkers	0	0	-8.187	0	0	0	0	0	0	-8.187
Var. Existencias	-1.682	-297	-501	-462	0	0	0	0	0	-2.942
<b>Oferta Total (TPES)</b>	<b>17.872</b>	<b>62.232</b>	<b>8.610</b>	<b>31.011</b>	<b>15.669</b>	<b>2.198</b>	<b>2.073</b>	<b>5.172</b>	<b>-282</b>	<b>144.555</b>
Refino y otra transf	-1.743	-62.220	56.220	-887	0	0	0	0	1	-8.629
Electricidad	-14.717	0	-4.493	-13.203	-15.669	-2.198	-1.992	-1.484	21.758	-31.998
										0
<b>Consumo Final Total (TFC)</b>	<b>1.412</b>	<b>12</b>	<b>53.047</b>	<b>16.479</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>82</b>	<b>3.688</b>	<b>21.478</b>	<b>96.198</b>
<b>Agricultura</b>	0	0	1.932	278	0	0	8	18	518	2.754
<b>Industria</b>	1.168	12	5.511	12.418	0	0	2	1.377	9.187	29.675
Metales básicos	840	0	696	1.510	0	0	0	1	2.568	5.615
Química y plásticos	121	12	598	3.164	0	0	0	15	1.192	5.102
Min no metalicos	127	0	2.553	3.339	0	0	0	132	1.143	7.294
Material transporte	0	0	337	685	0	0	0	1	1.017	2.040
Minería	0	0	119	110	0	0	0	0	137	366
Alimentación	17	0	439	1.061	0	0	0	278	1.003	2.798
Papel	0	0	250	1.000	0	0	0	462	707	2.419
Madera	0	0	53	145	0	0	0	366	232	796
Construcción	0	0	123	35	0	0	1	5	237	401
Textil y calzado	0	0	130	401	0	0	0	5	340	876
Otros	61	0	213	968	0	0	0	111	609	1.962
<b>Transporte</b>	0	0	40.189	0	0	0	0	172	461	40.822
<b>Terciario</b>	47	0	1.630	741	0	0	23	90	5.661	8.192
<b>Hogares</b>	197	0	3.785	3.042	0	0	49	2.031	5.651	14.755
<b>Unos no energéticos</b>	0	0	7.289	442	0	0	0	0	1	7.732

Nota: Los usos no energéticos se han excluido de las cifras totales (TPES y TFC) y se muestran a título informativo. La IEA no muestra el desglose del consumo del transporte privado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

**Cuadro 4.2. Reparto del consumo del transporte.**



(1) Dentro del transporte de carretera se incluyen furgonetas y camiones (mercancías) y turismos y autobuses (privado).

Nota: Ef representa la energía final consumida por los sectores (1,2...n); T representa la energía consumida para el transporte demandado por los sectores

Fuente: Elaboración propia.

La asignación del consumo del transporte entre los sectores utiliza la siguiente metodología (cuadro 4.2). En primer lugar, se realiza una asignación por modos del transporte privado y el de mercancías. El transporte privado es la suma del transporte que se realiza en vehículo particular y el que se produce en el transporte de

pasajeros.<sup>23</sup> En segundo lugar, se reparte el consumo energético del transporte de mercancías por sectores productivos. En tercer lugar, se calcula el nuevo balance sumando a cada sector los consumos energéticos del transporte incurrido.

El transporte tiene lugar en distintos modos - carretera, ferrocarril, aviación doméstica e internacional, marítimo, oleoducto y otros- pero el 80% del consumo energético se produce en la carretera. Las estadísticas del IDAE permiten separar, dentro del transporte por carretera, el que corresponde al transporte privado, al de autobús y al de mercancías. Para repartir el transporte en los otros modos se adoptan las siguientes hipótesis:

- Toda la aviación doméstica corresponde al transporte de pasajeros.
- Un 80% de la aviación internacional corresponde al transporte de pasajeros.
- El ferrocarril se reparte por igual entre el transporte de pasajeros y el de mercancías.<sup>24</sup>
- Todo el transporte marítimo es de mercancías.
- Todo el transporte en autobús se considera transporte de pasajeros.

Dentro del transporte privado existe una parte que corresponde al transporte con motivos profesionales, pero ese desglose no está disponible. Por ello, los resultados que se muestran en esta sección sobrevaloran el transporte realizado por las familias, en detrimento del sector servicios.

Por lo que se refiere a la estimación de la demanda de transporte de mercancías de los sectores productivos, se utiliza como aproximación las estadísticas del Ministerio de Fomento de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías (EPTMC) (MFOM, varios años) con información sobre las toneladas-kilómetro (ton-Km.) transportadas para 10 sectores productivos. La muestra utilizada para realizar la encuesta está basada en los vehículos autorizados por la Dirección General de Transporte por Carretera del Ministerio de Fomento para realizar transporte de mercancías por carretera, cuya capacidad de carga útil sea superior a 3,5 toneladas y con un peso máximo autorizado superior a 6 toneladas (véase Pérez-Martínez, 2009 para una descripción de la metodología y la información contenida en la EPTMC). Esto significa que no se da información sobre las mercancías transportadas por las furgonetas y no existe una encuesta similar para ellas. Tampoco se dispone de información estadística anualizada del transporte de mercancías en otros modos. Por ello se adopta la hipótesis que todo el transporte atiende a los mismos sectores que el transporte con

---

<sup>23</sup> Esto es diferente al capítulo 3 en el que los consumos energéticos del transporte de viajeros (autobuses, trenes, aviones) figuraban en la categoría de transporte del mismo modo que lo hacía su VAB.

<sup>24</sup> Esta hipótesis podría variar considerablemente con datos reales, pero como el ferrocarril consume menos del 2% del consumo energético en España, no alteraría mucho los resultados.

camiones. La ausencia de esta información estadística es una limitación importante para la comprensión del transporte de mercancías y la elaboración de encuestas específicas es una de las principales recomendaciones de este capítulo.

Por otro lado, los sectores recogidos en la EPTMC no coinciden estrictamente con los de los balances energéticos ni con los de la contabilidad nacional. Por ello, cuando se realiza este reparto se pierde nivel de detalle, pasando de 14 sectores de los balances energéticos a 7 tras su fusión con la EPTMC. Los sectores incluidos en la EPTMC son: productos agrícolas y animales vivos (grupo 0), productos alimenticios y forrajes (grupo 1), combustibles minerales sólidos (grupo 2), productos petrolíferos (grupo 3), minerales y residuos para refundición (grupo 4), productos metalúrgicos (grupo 5), minerales en bruto o manufacturados y materiales de construcción (grupo 6), abonos (grupo 7), productos químicos (grupo 8) y máquinas, vehículos y objetos manufacturados (grupo 9). En la tabla 4.2 se comparan las clasificaciones de los balances energéticos, la EPTMC y el resultado de su fusión.

**Tabla 4.2. Comparación de los balances energéticos y de la EPTMC.**

Capítulo 4	Grupos EPTMC	Balance Energético
<b>Agricultura</b>	0 Productos agrícolas y animales vivos	Agricultura
<b>Alimentación</b>	1 Productos alimenticios y forrajes	Alimentación
<b>Energía</b>	2 Combustibles minerales sólidos 3 Productos petrolíferos	Energía
<b>Metales básicos</b>	4 Minerales y residuos para refundición 5 Productos metalúrgicos	Metales básicos
<b>Construcción</b>	6 Minerales en bruto o manufacturados y materiales de construcción	Min no metalicos Minería Construcción
<b>Química y papel</b>	7 Abonos 8 Productos químicos	Química y plásticos Papel
<b>Otros</b>	9 Máquinas, vehículos y objetos manufacturados	Madera Material transporte Maquinaria Textil y calzado Otros

*Fuente: Elaboración propia*

El principal inconveniente de esta aproximación es que en la categoría de otros de la EPTMC se incluyen las mercancías que corresponden a varias categorías de los balances energéticos. Esto afecta especialmente a la interpretación de la industria de papel, que se incluye en química y papel, pero cuyos productos manufacturados (papel, cartón) se recogen en la categoría de otros en la EPTMC.<sup>25</sup> A pesar de este inconveniente el resultado de agrupar las tres clasificaciones resulta en un mayor detalle para los sectores que consumen más energía (agricultura, minerales no metálicos, metales básicos) y menor desagregación para aquellos sectores con IE bajas

<sup>25</sup> Una parte del transporte de esta categoría podría corresponder al sector servicios (paquetería) pero, dado su reducido nivel de consumo energético y la imposibilidad de obtener información estadística, se mantiene en la categoría de otros.

(material de transporte, madera, maquinaria, textil, etc.). Por ello, este ejercicio permite concentrar el análisis en los sectores clave.

Otro aspecto importante es que una parte significativa del transporte se destina a las actividades del sector terciario (por ejemplo, comercio), pero con esta metodología se repercute el consumo energético del transporte en el sector productor de los bienes transportados (por ejemplo, la industria textil).

Por otro lado, en las cifras de la EPTMC se incluye el transporte del grupo energía, que se refiere a petróleo bruto y productos petrolíferos que posteriormente se consumen en los sectores finales. Como no se dispone de una desagregación estadística del tipo de productos petrolíferos transportados, se reparte este consumo de transporte proporcionalmente a la demanda de transporte de los sectores productivos.

Conviene matizar que para transportar una tonelada-kilómetro no siempre se necesita la misma cantidad de energía, puesto que ésta depende del tipo de vehículo utilizado, su antigüedad, la velocidad y otros factores. No resulta posible tener un detalle estadístico de estos factores para todos los movimientos de mercancías, puesto que se requieren sistemas sofisticados de monitorización y control en cada vehículo. Por ello, las toneladas-kilómetro son la mejor aproximación al reparto de los consumos energéticos del transporte y cuenta con la ventaja de que es una estadística que, al igual que los balances energéticos, se publica anualmente.

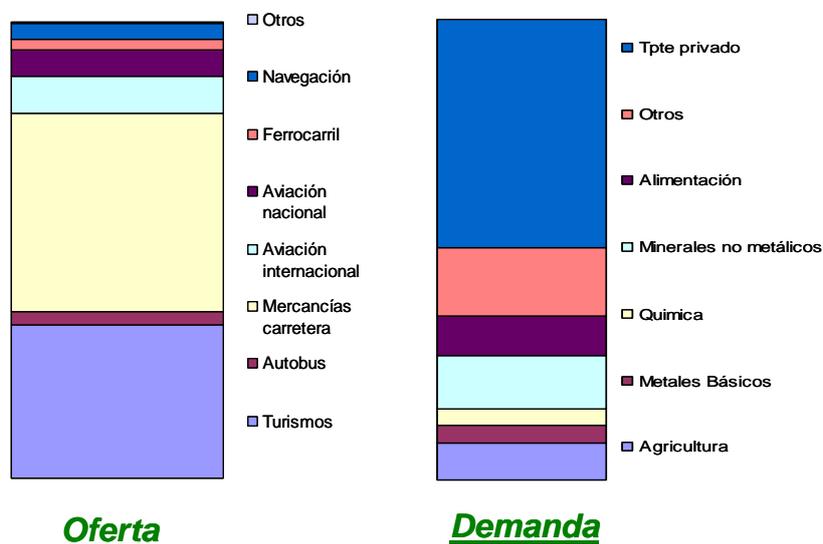
El gráfico 4.1 muestra el resultado de asignar el consumo energético del transporte por sector demandante y por modo. Los datos muestran que:

- Casi la mitad del consumo energético del transporte se destina a satisfacer la demanda de movilidad de viajeros. Dos tercios de esta demanda se producen en automóvil.
- La otra mitad del consumo del transporte se realiza en camión o furgoneta.
- Las actividades que demandan más transporte de mercancías por carretera son los minerales no metálicos (23% del total de mercancías), la alimentación (17%) y la agricultura (16%).

La concentración del transporte, tanto de viajeros como de mercancías, en la carretera es habitual en casi todos los países. Sin embargo este modo es uno de los más ineficientes en términos energéticos. En el caso del transporte de mercancías la eficiencia media de los camiones en la UE es de 72,4 tep/Mton-Km. frente a 5,5 tep/Mton-Km. el ferrocarril (EUROSTAT, 2006). La cuestión es que el tipo de productos que demandan más transporte (alimentación, minerales no metálicos y productos agrícolas) necesitan un servicio puerta a puerta y rápido que no se puede en muchos casos obtener en el transporte multi modal (en el capítulo 8 se profundiza en estos aspectos). Así que las políticas para el cambio modal son adecuadas, pero en estos sectores podrían no ser efectivas. Por otro lado, se podría esperar que con la

ralentización de la construcción la demanda de transporte disminuyese. Asimismo, el paulatino descenso del peso de la agricultura en la economía podría también reducir la demanda de transporte.

**Gráfico 4.1. Desglose del balance energético del transporte en España en 2006.**



Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a), IDAE (2006a) y MFOM (2008).

Otra alternativa para mejorar la sostenibilidad del transporte de mercancías es la sustitución de fuentes energéticas. No obstante, no parece que esto se pueda hacer en el corto plazo de forma significativa. Los biocarburantes alcanzarán en el mejor de los casos el 10% del consumo de productos petrolíferos en 2020 y no existen por ahora muchas alternativas al motor de combustión interna. En el capítulo 8 se explicará con más detalle la problemática del transporte de mercancías y se presentarán unas recomendaciones.

El consumo de transporte por sectores obtenido tras estas estimaciones se suma al balance energético final de los sectores, tal y como se ha mostrado en el cuadro 4.2, y se obtiene el nuevo balance de energía final para los años con información disponible (tabla 4.3). Los aspectos más destacables para el año 2006 son:

- El sector residencial es el principal consumidor energético, con un 36% del consumo total repartido entre los hogares (15%) y el transporte (21%).
- El transporte de mercancías representa el 21% del consumo energético en España. Al repartir a cada sector la parte proporcional que les corresponde por su demanda de servicios de transporte, algunos sectores cobran más relevancia: alimentación (pasa de representar el 3% del consumo final a hacerlo en un 7%), agricultura (pasa del 3% al 6%) y los minerales no metálicos (pasan del 8% al 13%).

- El sector productivo que más energía demanda es el de los minerales no metálicos (13% del total) seguido del terciario (9% del total).
- Los sectores más dependientes del petróleo son la agricultura (un 86% de su consumo energético), la alimentación (un 63%) y los minerales no metálicos (un 60%)<sup>26</sup>.

Este tipo de conclusiones no se obtienen del análisis de los balances energéticos desde un enfoque tradicional. Los resultados invitan a reflexionar sobre el modelo económico español, basado en sectores que conducen a la insostenibilidad del modelo energético. Además, estos sectores no se caracterizan por generar un alto valor añadido por consumo energético. Otra cuestión que invita a la reflexión es que el coste del transporte no es lo suficientemente significativo como para modificar un modelo de negocio tan dependiente del transporte. Por ello, una cuestión clave es cómo hacer que la introducción de políticas públicas internalice el coste ambiental generado por el transporte e impulse la mejora de la eficiencia energética de estos procesos productivos.

**Tabla 4.3. Nuevo balance energético del consumo final en España en 2006 (ktep).**

	Productos					Total
	Carbón	petrolíferos	Gas	Renovables	Electricidad	
<b>Agricultura</b>	0	5.101	278	40	554	<b>5.972</b>
<b>Met. Básicos</b>	840	2.346	1.510	8	2.587	<b>7.291</b>
<b>Química</b>	121	2.246	4.164	483	1.915	<b>8.929</b>
<b>Minerales no metálicos</b>	127	7.310	3.374	158	1.433	<b>12.402</b>
<b>Alimentación</b>	17	3.982	1.061	293	1.044	<b>6.397</b>
<b>Otros</b>	61	6.734	2.309	508	2.402	<b>12.015</b>
<b>Terciario</b>	47	1.630	741	113	5.661	<b>8.192</b>
<b>Tpte Privado</b>	0	19.931	0	85	229	<b>20.245</b>
<b>Residencial</b>	197	3.785	3.042	2.080	5.651	<b>14.755</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.410</b>	<b>53.065</b>	<b>16.479</b>	<b>3.768</b>	<b>21.476</b>	<b>96.198</b>

*Nota: Véase tabla 4.2 para una descripción de los sectores incluidos en cada categoría.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.2. Reparto del consumo energético de la transformación energética

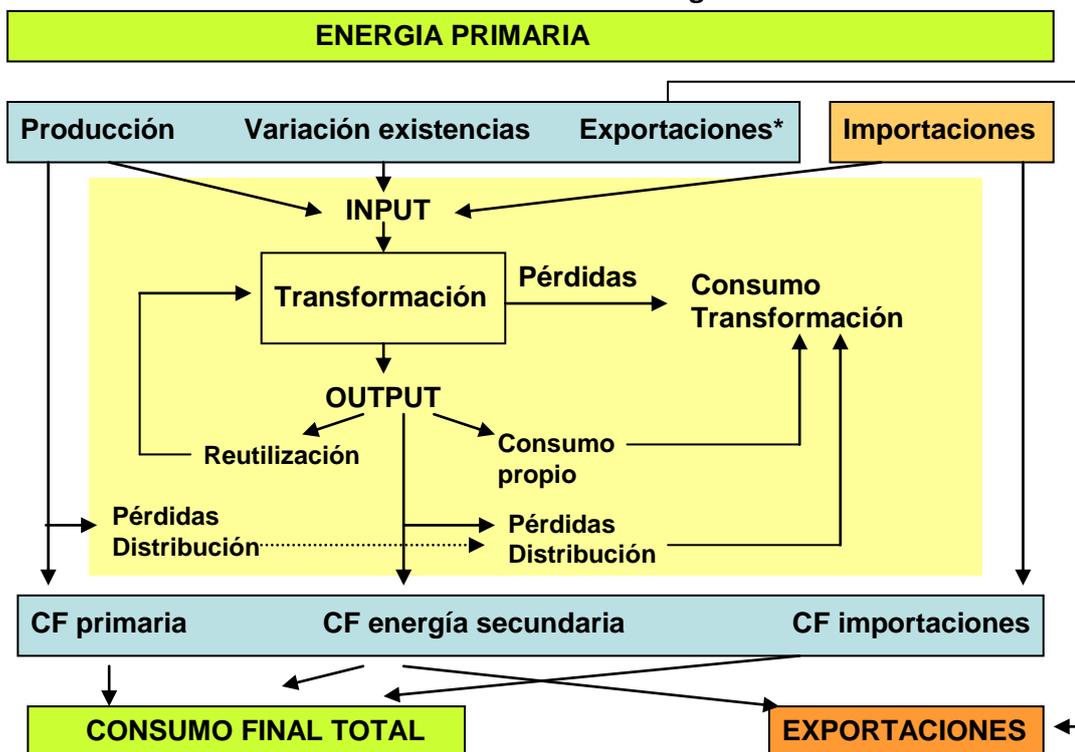
En la sección anterior se ha realizado la primera parte de la metodología ilustrada en el cuadro 4.1. En esta sección se realiza el segundo paso, que consiste en asignar los consumos de transformación a los sectores que demandan sus productos.

<sup>26</sup> En este caso el coque de petróleo supone casi un 90% del consumo de productos petrolíferos del sector. Este producto, que es un residuo del proceso de refino tiene un alto contenido de carbono, es muy barato y se importa en su mayor parte de Estados Unidos.

En el cuadro 4.3 se muestran las principales relaciones de la transformación energética, que incluyen el refinado de petróleo crudo, la generación de electricidad y la producción de gas con petróleo o carbón, principalmente. La energía primaria puede ser utilizada como input en el proceso de transformación energética (carbón para producir electricidad), puede ser consumida directamente (gas consumido en los hogares) o puede ser exportada. Junto con la energía primaria entran como insumos del proceso de transformación las importaciones de energía primaria o de energía secundaria. Además, hay ciertos productos energéticos que se reutilizan (por ejemplo, el fuel óleo para la generación de electricidad).

La transformación energética consume energía primaria, pero también energía secundaria, por ejemplo electricidad, lo que se denomina consumos propios. Para simplificar el análisis, incluimos dentro del consumo de transformación las pérdidas de distribución, que se producen en el transporte de los productos al punto de consumo, e incluimos también las pérdidas de transporte de energía primaria (de gas) que, aunque no corresponden a la transformación energética, las estadísticas no distinguen si las pérdidas se producen en el transporte de gas a las plantas de generación eléctrica o a los consumidores finales.

**Cuadro 4.3. Transformación energética.**



\* Incluye consumos transporte

Fuente: Elaboración propia

La energía una vez transformada se destina al consumo final (CF) total que es la suma del CF de energía primaria, el CF de energía transformada y el CF de las importaciones

de productos ya transformados (productos petrolíferos o electricidad). Por otro lado, se producen exportaciones de energía primaria y de energía secundaria.<sup>27</sup>

Conviene destacar que los balances energéticos no incluyen los consumos necesarios para la producción de productos importados, tanto de energía primaria (por ejemplo, la energía necesaria para extraer el petróleo) como final (por ejemplo, la energía necesaria para producir una unidad de gasóleo). Por ello, el consumo energético de cualquier país importador de energía está infravalorando la energía realmente utilizada en el país. En particular, en el comercio internacional de electricidad la cantidad de energía utilizada o evitada puede llegar a ser muy cuantiosa, puesto que se necesita mucha energía primaria para generarla. Por ejemplo, Italia y Bélgica han aprovechado las interconexiones con Francia para importar electricidad, lo cual empeora el ratio de IE francés y mejora el italiano y el belga. En el caso español, la capacidad de interconexión eléctrica es muy limitada, por lo que esta cuestión afecta, sobre todo, a la importación o exportación de productos petrolíferos.

Por otro lado, con la agrupación de los diferentes productos de carbón, de petróleo, y de centrales de generación de electricidad se pierde nivel de detalle, porque existen diferentes eficiencias de conversión según la energía primaria utilizada o la central de generación utilizada.

### **DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA**

Para repartir los consumos energéticos de la transformación se utiliza una metodología sencilla basada en los modelos input-output (véase Alcántara y Padilla, 2002 para un mayor detalle).

En la tabla 4.4 se muestra la tabla de origen y destino energética, que se ha calculado a partir de los balances energéticos completos de la IEA (resumidos en la tabla 4.1). En esta tabla de origen y destino energéticos, en vez de sectores productores y utilizadores se reflejan las energías primarias (por ejemplo, crudo) y secundarias (por ejemplo, productos petrolíferos), que se utilizan para obtener energía primaria y secundaria, que será consumida por los sectores finales. La ventaja es que en el caso energético se dispone de estadísticas para cada año.

**Tabla 4.4. Tabla de origen y destino de la energía en España en 2006 (ktep).**

	C	R	Oil	N	H	G	P.P	E	Indirecto	Directo	Total
Carbón (C)	1.743	0	0	0	0	0	0	14.717	16.460	1.412	17.872
Renovables (R)	0	0	0	0	0	0	0	3.476	3.476	3.770	7.246
Crudo (O)	0	0	-838	0	0	0	63.117	0	62.279	12	62.291

<sup>27</sup> En el análisis no se incluyen los consumos no energéticos, pero se supone que la energía utilizada para la transformación es similar para todos los productos petrolíferos, lo cual no es completamente cierto, pero tampoco se cuenta con información pública disponible para su desglose.

Nuclear (N)	0	0	0	0	0	0	0	15.669	<b>15.669</b>	<b>0</b>	<b>15.669</b>
Hidráulica (H)	0	0	0	0	0	0	0	2.198	<b>2.198</b>	<b>0</b>	<b>2.198</b>
Gas (G)	0	0	0	0	0	926	0	13.203	<b>14.129</b>	<b>16.921</b>	<b>31.050</b>
Prod. petrolíferos (P.P)	0	0	61	0	0	58	5.657	4.493	<b>10.269</b>	<b>51.225</b>	<b>61.494</b>
Electricidad (E)	0	0	0	0	0	0	0	3.965	<b>3.965</b>	<b>21.758</b>	<b>25.723</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

En la tabla 4.4 las filas muestran los consumos directos e indirectos de las distintas fuentes energéticas. Así, la primera fila muestra el carbón que se transforma en otros productos de carbón (1.743 ktep) y se utiliza para generar electricidad (14.717 ktep). Ambos consumos representan el consumo indirecto de carbón que sumados al consumo directo (1.412 ktep) resultan en el consumo total de carbón (17.872ktep) que figuraba también en la tabla 4.1. Las columnas representan los consumos de transformación de las fuentes energéticas para la producción de otras fuentes energéticas. Así, se consumen 63.117 ktep de petróleo crudo y 5.657 ktep de otros productos petrolíferos para producir productos petrolíferos que serán consumidos por los sectores. Para producir electricidad se utilizan todas las fuentes energéticas excepto el petróleo crudo.

La columna denominada “Directo” recoge los consumos energéticos de los sectores tras los procesos de transformación. Equivale a la fila de consumos finales que se mostraba en la tabla 4.1. La importación de productos petrolíferos y de electricidad no genera un consumo en la transformación del país que los importa y al contrario sucede con las exportaciones. Para evitar esta distorsión se supone que la eficiencia de las transformaciones de productos petrolíferos y de electricidad exportadas e importadas es igual a la media del sector en España. Con esta hipótesis se resta a la demanda final de los productos petrolíferos y de la electricidad el saldo neto de importaciones y exportaciones.

A partir de la tabla 4.4 se calculan los coeficientes energéticos que reflejan la energía consumida en el sector de transformación para producir una unidad de energía. Esto se obtiene dividiendo cada elemento de cada fila por su correspondiente elemento del vector total, formando así la matriz A de coeficientes energéticos (tabla 4.5). Por ejemplo, en el caso del carbón utilizado para la producción de electricidad el factor resultante es 0,572. Este se obtiene si se divide su consumo indirecto (14.717 ktep) por el total de electricidad (25.723 ktep), que es la suma de los consumos indirectos e indirectos.

**Tabla 4.5. Matriz de coeficientes energéticos (A).**

	C	R	Oil	N	H	G	P.P	E
Carbón (C)	0,098	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,572
Renovables (R)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,135
Crudo (O)	0,000	0,000	-0,013	0,000	0,000	0,000	1,026	0,000
Nuclear (N)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,609
Hidráulica (H)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,085
Gas (G)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,513
<i>P. petrolíferos (P.P)</i>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,092	0,175
<i>Electricidad (E)</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154

Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

Siguiendo la metodología input-output, se calcula la matriz inversa  $(I-A)^{-1}$ , en la que  $I$  es la matriz unidad y  $A$  la matriz de transformación (tabla 4.5), para obtener las necesidades energéticas totales por una unidad de energía final. Después, para evitar la doble contabilidad se seleccionan solo las filas que corresponden a las energías primarias (todas excepto los productos petrolíferos y la electricidad) y todas las columnas que reflejan los consumos indirectos, formando así la matriz de transformación (tabla 4.6). La suma de los valores de cada fila refleja la energía primaria necesaria para obtener un ktep de cada fuente energética. Por ejemplo, en el caso de la electricidad se necesitan (2,59 ktep) por cada ktep de electricidad producido. Esto significa que se consumen 1,59 ktep en el sector eléctrico y 1 ktep en los sectores finales. Lo que interesa en este capítulo es asignar ese 1,59 ktep al sector que ha consumido la electricidad.

**Tabla 4.6. Matriz de transformación o matriz inversa  $(I-A)^{-1}$ .**

	C	R	Oil	N	H	G	P.P	E
Carbón (C)	1,11	0	0	0	0	0	0	0,75
Renovables (R)	0	1,0	0	0	0	0	0	0,16
Crudo (O)	0	0	0,99	0	0	0	1,12	0,23
Nuclear (N)	0	0	0	1,0	0	0	0	0,72
Hidráulica (H)	0	0	0	0	1,0	0	0	0,10
Gas (G)	0	0	0	0	0	1,03	0	0,63
<i>P. petrolíferos (P.P)</i>	0	0	0	0	0	0	1,10	0,23
<i>Electricidad (E)</i>	0	0	0	0	0	0	0	1,18
Suma	1,11	1,0	0,99	1,0	1,0	1,03	1,12	2,59

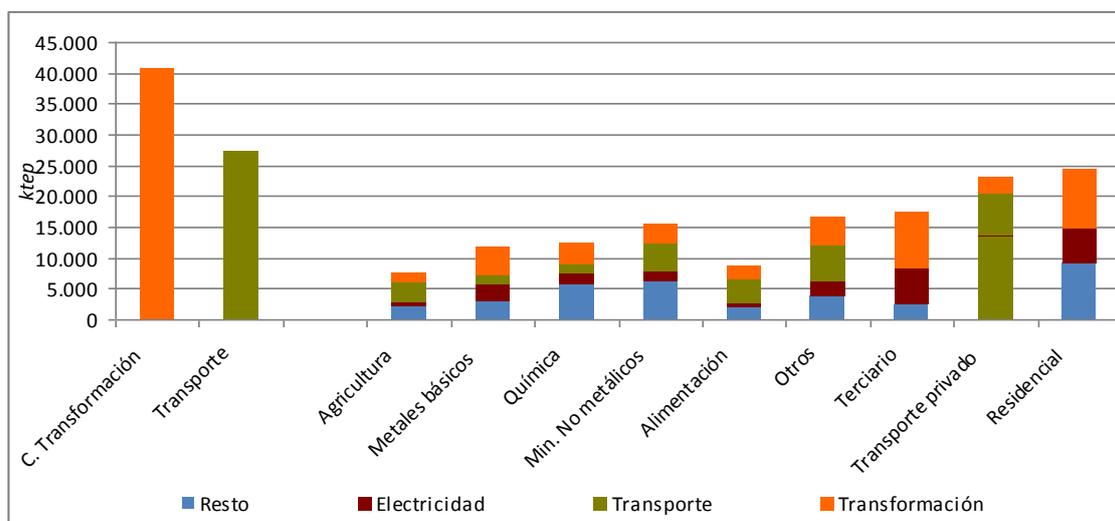
Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).

Esta matriz de transformación, que se representaba gráficamente en el segundo paso del cuadro 4.1, se multiplica por el nuevo balance final calculado en la sección anterior

(paso 1 del mencionado cuadro) para obtener un balance energético que incluye los consumos directos e indirectos.

En el gráfico 4.2 se muestra el resultado de este ejercicio de distribución de los consumos energéticos indirectos de transformación (40.628 ktep) y de transporte (27.235 ktep) a cada sector. Los balances energéticos de la IEA incluyen el consumo de electricidad como consumo final, pero en este gráfico se muestra separadamente y se observa el paralelismo con los consumos de transformación. Cuando se distribuyen estos consumos al resto de los sectores, la importancia de los sectores en el consumo energético del país cambia considerablemente. Por ejemplo, los balances energéticos muestran que en 2006 el sector terciario consumió 8.192 ktep de energía final (tabla 4.1), incluyendo 5.661 ktep de electricidad. Como se necesita una gran cantidad de energía para producir un tep de electricidad (incluido en consumo de transformación), el consumo total de energía de este sector es de 17.400 ktep, esto es más del doble de lo que se reporta en los balances energéticos. En el caso de los minerales no metálicos, los balances energéticos muestran un consumo de 7.695 ktep en 2006, pero si se tiene en cuenta los consumos de transformación (3.252 ktep) y transporte (4.707 ktep), el consumo total asciende a 15.564 ktep.

**Gráfico 4.2. Consumo energético directo e indirecto en 2006 (ktep).**



Fuente: Elaboración propia.

La conclusión más importante de este análisis es que la mayor parte del consumo energético de los sectores viene de proveedores de servicios energéticos, esto es transportistas o compañías eléctricas. En el período analizado la demanda de electricidad de los sectores no ha parado de crecer y ha aumentado su participación en su demanda final. En contrapartida la electrificación de los consumos es un síntoma de progreso y revierte en una menor IE, tal y como se ha mostrado en el capítulo 2.

Con un porcentaje creciente de sus necesidades satisfechas por los proveedores de servicios energéticos, los sectores tienen menos alternativas para mejorar su eficiencia energética, al margen de sus propias políticas de gestión de la demanda de electricidad y transporte.

Otro aspecto importante, pero que no es visible en un análisis tradicional del consumo energético, es que el ahorro de electricidad genera importantes ahorros en el consumo de transformación. Un 80% de este consumo se produce en el sector eléctrico.

Las compañías tienen incentivos económicos para mejorar la eficiencia energética en el suministro, reduciendo las pérdidas de distribución y transporte y aumentando la eficiencia de las centrales. Sin embargo, la lógica comercial no indica que tengan incentivos para fomentar la eficiencia energética de sus clientes, al margen de sus deseos de desplazar la curva de carga. Por lo tanto, desde el punto de vista de las políticas públicas, las medidas destinadas a incentivar la gestión de la demanda de electricidad son clave.

## **4.3. Análisis de la nueva intensidad energética**

### **4.3.1. Ajustes en la producción económica**

Para poder calcular la nueva IE se deben introducir unos ajustes en la presentación de los datos del VAB de los sectores.

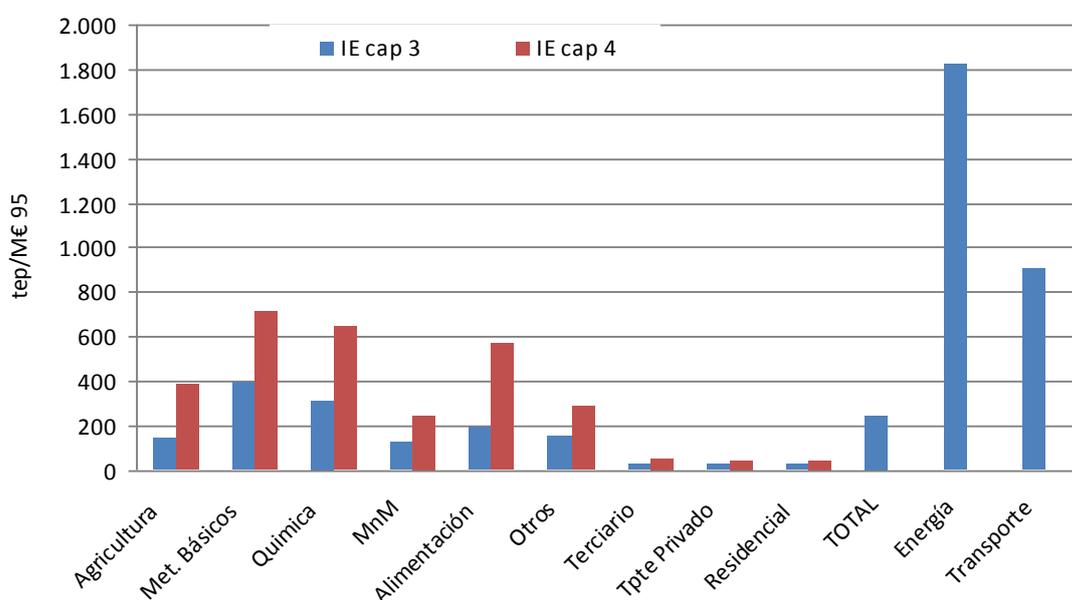
En primer lugar, se debe agrupar los sectores de la misma manera que se ha hecho con los balances energéticos y la EPTMC.

En segundo lugar, se debe repartir el VAB de las actividades económicas encargadas de la transformación energética y el transporte, puesto que ya no se muestran estos sectores del balance final. Para ello se utiliza la tabla input output más reciente (año 2000) como aproximación de la demanda en términos monetarios que los sectores productivos efectúan de los productos del sector de transformación energética (que incluye refino y electricidad) y del transporte. Así, al VAB de cada actividad productiva se le asigna la parte proporcional del VAB de esos dos sectores. Aunque la estructura de la demanda cambia cada año en función de los productos y los precios de los mismos, se considera esta una aproximación adecuada para analizar tendencias de forma coherente. Así, el sector de la energía destina un 59% de su producción al sector servicios, por lo que se añadirá a este último ese porcentaje del VAB del sector energía.

### 4.3.2. Comparación de la nueva intensidad energética con el indicador tradicional

En el apartado 3.5.2 se mostró la evolución del indicador de la IE entre 1980 y 2006 y se analizaron los sectores que más influyeron en la IE. En este capítulo tan sólo se dispone de la serie 1995-2006 y para un número de categorías más reducido, por lo que los resultados no son estrictamente comparables.<sup>28</sup> En el gráfico 4.3 se muestran como “IE cap 3” las IE utilizadas en el capítulo 3 junto con los nuevos ratios de IE que se han obtenido con el nuevo balance energético y los ajustes a los VAB de los sectores calculados en este capítulo, “IE cap 4”. Se muestran los ratios de IE de los sectores energía y transporte del capítulo 3 que desaparecen en el capítulo 4 al haberse asignado a cada sector.

**Gráfico 4.3. Comparación de los ratios de intensidad energética en 2006 con los del capítulo 3.**



Fuente: Elaboración propia.

El nivel de los ratios de IE cambia considerablemente y los hechos más significativos son los siguientes:

- Los metales básicos se convierten en la rama productiva con mayor IE porque la electricidad y el transporte aportan un porcentaje importante de su consumo (35% y 23% respectivamente). No obstante su evolución sigue siendo positiva en el período analizado como se aprecia en la tabla 4.7. Los minerales no metálicos duplican su IE por ser el sector que más toneladas-kilómetro registra (un 23% del

<sup>28</sup> Tampoco son comparables con la comparación realizada con la UE15 para este mismo período por que la agrupación de los sectores es distinta.

total de transporte de mercancías). Dada la importancia de estos dos sectores se profundiza en ellos en la siguiente sección.

- La agricultura prácticamente triplica su IE por la necesidad de transportar sus productos. La mayor parte del consumo del transporte se utiliza para desplazamientos de cosechadoras y flota pesquera, mientras que la electricidad se consume en regadíos, ganadería y cultivos en invernadero. Dentro de este sector, la pesca es la actividad más intensiva (en torno a 800 tep/M€) frente a la agricultura (en torno a 200 tep/M€) y la ganadería (en torno a 30 tep/M€).<sup>29</sup>
- La alimentación, que antes aparecía como un sector de baja IE, pasa a ser de los más intensivos, ya que necesita energía para transportar los alimentos y consume la mitad de su consumo energético primario para este fin.

### 4.3.3. Análisis de desagregación de la nueva intensidad energética

Siguiendo la metodología de desagregación de índices explicada en el capítulo 3 se calcula la desagregación de la nueva IE para el período 1995-2006 (tabla 4.7). Para la lectura de los resultados se recuerda que el TOTAL representa la variación de la IE total (Dtot) que es la suma de los efectos estructura (Dstr), intersectorial (Dint) y residencial (Dresid).

**Tabla 4.7. Desagregación de la nueva intensidad energética entre 1995 y 2006.**

<i>tep/M€ 95</i>	Efecto Estructura	Efecto Intrasectorial	Efecto Residencial	Efecto conjunto	%
Agricultura	-4,4	1,4		-3,0	-59%
Met. Básicos	0,5	-1,9		-1,4	-28%
Química	-0,6	-0,3		-0,9	-18%
Min. no metálicos	4,0	2,1		6,0	118%
Alimentación	-3,2	2,5		-0,7	-14%
Otros	-2,5	3,5		1,0	19%
Terciario	0,5	0,6		1,0	20%
Tpte Privado			3,8	3,8	74%
Residencial			-0,7	-0,7	-13%
<b>TOTAL</b>	<b>-5,7</b>	<b>7,7</b>	<b>3,1</b>	<b>5,1</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

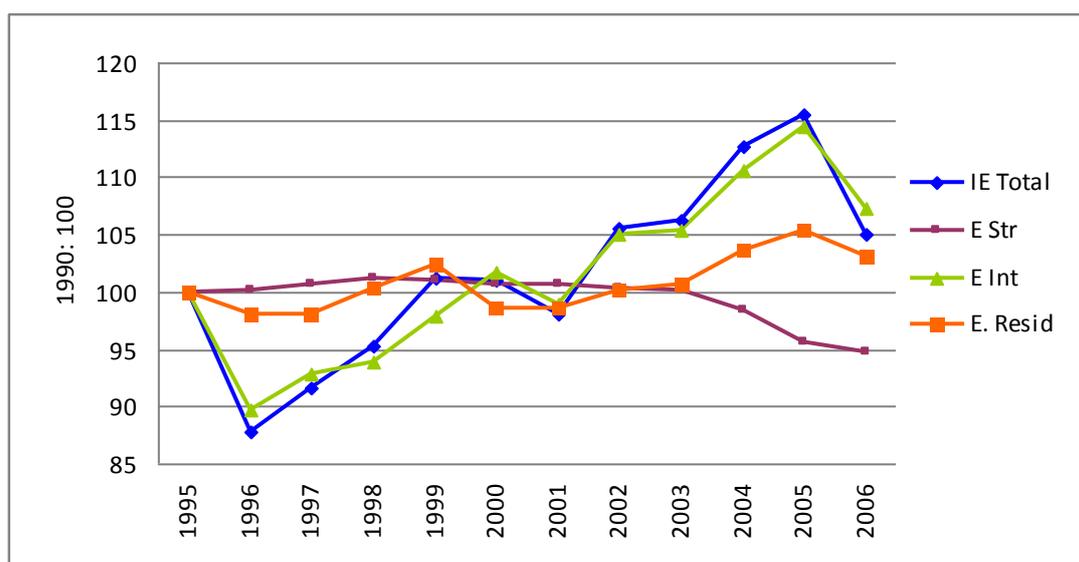
La IE ha aumentado en 5,1 tep/M€ entre 1995 y 2006 y esto se debe a la reducción de -5,7 tep/M€ por el efecto estructura (el menor peso en la economía de algunas ramas productivas), el aumento de 7,7 tep/M€ por el efecto intrasectorial (incremento de la

<sup>29</sup> Ratios calculados a partir de E4 (2003) y la Contabilidad nacional (INE, 2006).

IE de los sectores) y el aumento de 3,1 tep/M€ por el efecto residencial. A su vez, el efecto estructura (o el intrasectorial) es la suma de los efectos estructura (o intrasectorial) de los 7 sectores. En la columna titulada “Efecto Conjunto” se recoge la suma de los dos efectos (estructura e intrasectorial) para cada sector y, en la quinta columna, el porcentaje de cada sector sobre el total. Así, minerales no metálicos es el sector que más influye en la evolución de la IE, seguido del transporte privado y se ven parcialmente compensados con las reducciones de la agricultura, los metales básicos y la química.

En el gráfico 4.4 se muestra la descomposición de IE en cada año (esto es, 1995-1996, 1996-1997,..., 2005-2006) en los tres efectos descritos y se transforman en índices con 1995 como base 100. La IE total nuevamente es la suma de los efectos estructural, intrasectorial y residencial. El gráfico muestra claramente que el efecto intrasectorial se compensa parcialmente con el efecto estructural a partir de 2003 y se percibe una primera fase de reducción del sector intrasectorial hasta 1998, seguida de una fase de crecimiento, especialmente pronunciado entre 2001 y 2004, incremento que se ve compensado por la fuerte reducción del indicador de IE en 2006.

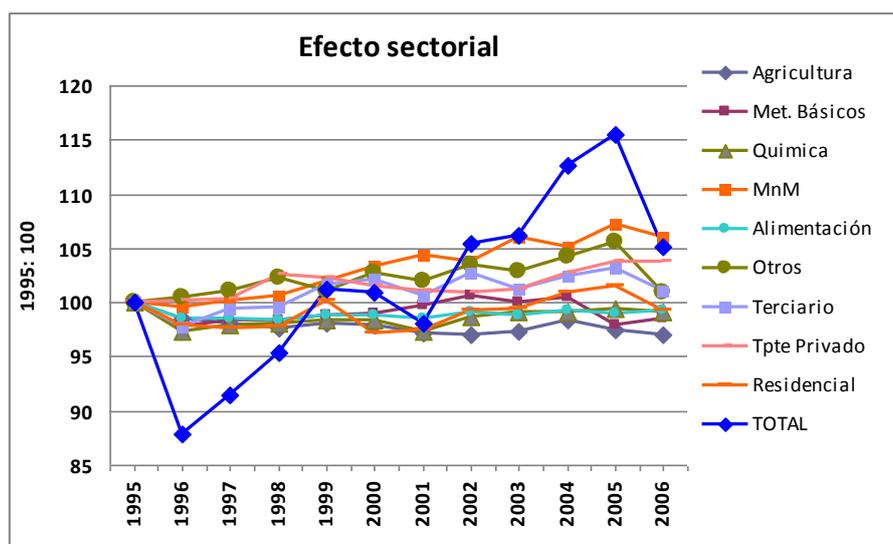
**Gráfico 4.4. Desagregación de la nueva intensidad energética (1995=100).**



*Fuente: Elaboración propia.*

Por último, resulta esclarecedor analizar la influencia de cada sector - considerando conjuntamente los efectos estructural e intrasectorial – sobre la IE. En el gráfico 4.5 se muestra la evolución entre 1995 y 2006 de este efecto conjunto, que se ha mostrado en la cuarta columna de la tabla 4.7, y se ha transformado en índice con 1995 como base 100. En algunos casos los efectos se compensan, como es el caso de la alimentación y, por el contrario, otros sectores cobran más relevancia como es el caso de minerales no metálicos, que empujan al alza el indicador.

**Gráfico 4.5. Efecto de cada sector sobre la intensidad energética (1995=100).**



Fuente: Elaboración propia.

Las principales conclusiones del análisis de la desagregación son:

1. Un empeoramiento de la IE entre 2001 y 2005 se ve compensado por la pronunciada reducción de la IE entre 2005 y 2006. Este descenso se produce fundamentalmente por la fuerte reducción del consumo energético en la industria, que se desacopla de la producción de VAB y por el descenso del consumo energético de los hogares y el terciario por unas temperaturas más moderadas.
2. El sector que más impulsa la IE es el de los minerales no metálicos, por el doble efecto del aumento de su peso en la economía y el empeoramiento de su eficiencia. La importancia de este sector en la evolución de la IE se ve acentuada por el efecto arrastre que produce en el transporte.
3. Las familias siguen siendo fuertemente responsables de la evolución de la IE, pero no tanto por lo que consumen en los hogares, sino por el transporte. Los datos muestran que la energetización de los hogares se ha moderado, o al menos crece a un ritmo menor que el PIB. Mientras tanto, el transporte privado ha crecido a una tasa media anual del 4% durante el período, y lo ha hecho fundamentalmente en el vehículo particular.
4. El sector servicios tendrá una mayor influencia en el futuro. Las favorables condiciones climáticas del año 2006 merman su influencia en el período analizado. Pero al contabilizar los consumos indirectos, la IE de este sector creció un 9,5% entre 1995 y 2005.
5. El cambio estructural es importante y contribuye a mejorar la IE. Esto se produce porque se reduce la participación de la agricultura en el PIB, pero se compensa con un aumento de la construcción.

6. En estos últimos 11 años los sectores que más han contribuido a reducir la IE han sido la agricultura (-3 tep/M€), los metales básicos (-1,4 tep/M€) y la química (-0,9 tep/M€). En la agricultura esto se produce principalmente por el efecto estructura, lo cual concuerda con las tendencias europeas. En los metales básicos ha sido sobre todo por la mejora de la intensidad intrasectorial, probablemente por el incremento de precio de sus productos. Finalmente en la química el efecto se reparte por igual entre los dos efectos.

#### **4.3.4. La construcción arrastra a los metales básicos y los minerales no metálicos**

El comportamiento del mercado de la vivienda ha contribuido con un 25% del crecimiento económico español de los últimos años (Cabrales et al., 2008). Como se ha visto anteriormente, la construcción tenía en 2006 un peso excesivo en la economía.

La “cultura del ladrillo” se remonta en España a los años sesenta, gracias al crecimiento económico de esa década y a unos tipos de interés hipotecarios fijos que se beneficiaron de unas tasas de inflación muy altas en los setenta. Esto hizo que muchos españoles creyeran que ser propietarios de una vivienda era la mejor inversión posible (Cabrales et al, 2008). Esta creencia se reforzó con el incentivo fiscal a la compra de vivienda y la fuerte bajada de los tipos de interés principalmente. Otros factores que han contribuido al incremento de la compra de viviendas han sido el fuerte crecimiento de la población por la llegada de una intensa inmigración, la mala calidad de las viviendas de los años 60, la emancipación de numerosos jóvenes debido a la buena situación económica, la fuerte competencia entre bancos en el crédito hipotecario que derivó en un diferencial de tipos de interés muy bajo, entre otros. La consecuencia para la economía ha sido una burbuja inmobiliaria de “proporciones gigantes” (Cabrales, et al, 2008).

La bajada de los tipos de interés nominales desde el 13,3 de promedio en 1992 hasta el 3% en 1999 y el 2,2% en 2005 ha desatado una fuerte demanda de crédito de las familias para la compra de vivienda y bienes de consumo duradero. Este fuerte incremento de la demanda aceleró la creación de empleo y la actividad económica. Como consecuencia se logró reducir la tasa de desempleo hasta el 8%, lo cual disparó el PIB por habitante, que en 2007, por primera vez, llegó a igualar a la renta per cápita de los italianos (Dehesa, 2009).

Este fuerte crecimiento de la demanda de empleo, especialmente en la construcción, pero también en servicios básicos de bajo valor añadido, atrajo mucha mano de obra inmigrante que acudió básicamente a España, lo cual generó también un incremento

del consumo y de la demanda de vivienda (Dehesa, 2009). La consecuencia del “boom de la construcción” para la IE ha sido doble. Por un lado, la fuerte demanda de materiales de la construcción (cemento, ladrillo, acero, etc.), que son muy intensivos en energía y generan muy poco valor añadido. Por otro, el incremento de la población inmigrante ha generado un incremento de la demanda energética para el transporte, los hogares y los servicios

En los capítulos 3 y 4 se ha puesto de manifiesto la importancia de los sectores de metales básicos y minerales no metálicos, arrastrados por una fuerte actividad de la construcción, en la evolución de la IE. En este apartado se profundiza un poco más en ellos para identificar las claves de su evolución.

### **A. METALES BÁSICOS**

Un análisis tradicional de la IE realizado en el capítulo 3 indica que el sector de metales básicos ha reducido su IE un -53% en el período 1980-2006. No obstante entre 1995 y 2006 su IE sólo se reduce un 1% y es un 82% superior a la IE europea, aportando un 8% de la diferencia entre la IE total europea y la española en 2006.

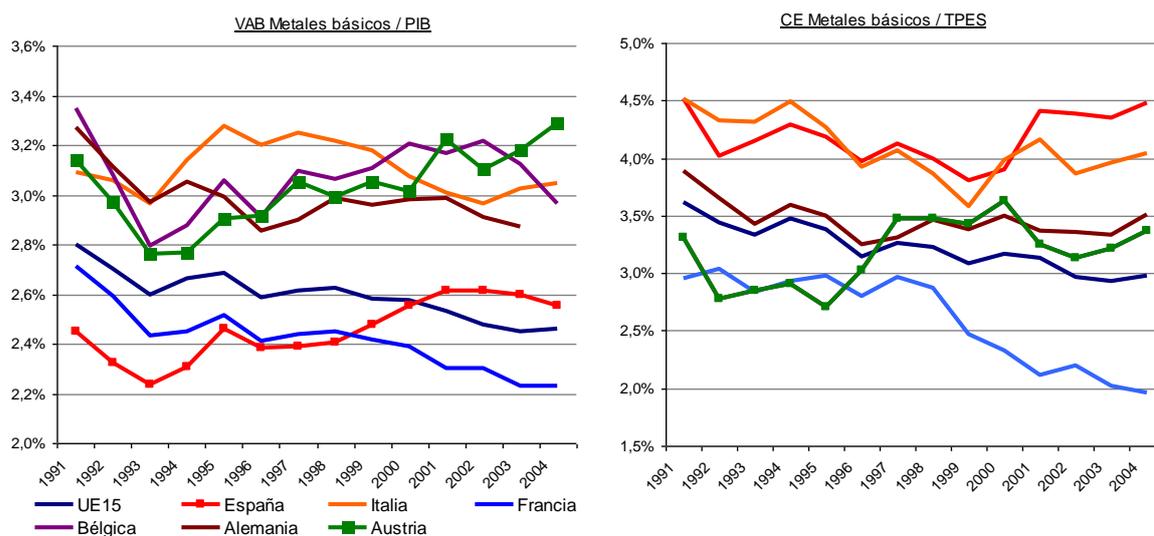
La reducción de la IE de los metales básicos se produjo sobre todo en la década de los 80, tras la reconversión del sector, sin embargo, entre 1990 y 2006 la reducción de la IE de los metales básicos ha sido menor que en el resto de países. Los factores que explican esta evolución en los ochenta son la reconversión industrial de los ochenta, y el desplazamiento progresivo del acero integral (a partir de arrabio en altos hornos) por acero eléctrico (utilizando chatarra y desbastes como materia prima), que ha provocado un descenso de los consumos de energía final por tonelada. Así, se está sustituyendo la producción en altos hornos (que ha reducido su capacidad instalada de 7,7 Mton en 1994 a 4,6 Mton en 2000) por la de hornos eléctricos que en el año 2000 producían el 73% del acero (11,6 Mton). Esta sustitución produce a su vez un aumento de la demanda de electricidad, como se aprecia en el gráfico 4.2. Cuando se considera los consumos indirectos de este sector la IE es lógicamente muy superior a la del capítulo 3 (gráfico 4.3). No obstante, su evolución es más positiva puesto que la nueva IE se reduce un -8% entre 1995 y 2006 frente a una reducción del 1% mostrada en el capítulo 3. Esto significa que la mejora de eficiencia no se produce en el sector sino principalmente gracias a que el sector energético que tiene una evolución favorable en este período.

En el gráfico 4.6 se muestra el porcentaje del PIB y del consumo energético total (TPES) de los metales básicos en los países donde esta actividad es importante. Se comprueba que a partir de 1998 esta actividad experimenta un mayor incremento de la participación del sector en el PIB en Austria, España y en Bélgica, que en el caso

español se ve acompañado por un aumento del consumo energético. La conclusión que se deriva de este análisis es que los países europeos que han contado con una actividad siderúrgica importante han reducido su consumo energético a lo largo de estos años al mismo tiempo que han aumentado su VAB, lo cual explica la IE más baja a nivel europeo.

Esto significa que esos países se han concentrado en actividades de mayor valor añadido. En este sentido, un caso interesante es el austriaco, que consiguió una privatización exitosa del sector siderúrgico, con su correspondiente reestructuración y concentración empresarial. La especialización en el mercado de acero de calidad, sistemas ferroviarios, perfiles de acero y productos sofisticados para la industria del automóvil puede explicar que genera un mayor valor añadido por consumo energético. En consecuencia, la IE austriaca (sin incluir consumos indirectos) en los metales básicos es muy reducida, de 155 tep/M€ frente a los 397 tep/ M€ del país.

**Gráfico 4.6. Consumo energético y VAB de los metales básicos.**



*Fuente: Elaboración propia.*

El sector de metales básicos incluye dos subsectores, la siderurgia y fundición (con una IE de 878 tep/M€) y la metalurgia no férrea (con una IE de 156 tep/M€). La mayor parte de la actividad y consumo energético del primero se produce en la siderurgia, que está inmersa en un proceso de reconversión tecnológica, por cierre de algunas empresas y fusiones empresariales (MINISTERIO DE ECONOMÍA, 2003). En este sector existe todavía un potencial de ahorro energético importante por la introducción de sistemas de gestión energética, aprovechamiento de calores residuales, mejora de hornos de tratamiento, aumento de la potencia de combustión en horno eléctrico u obtención de metales a partir de chatarra de recuperación (IDAE, 2003: 38). Parece lógico que se produzca un paulatino desplazamiento de la producción hacia los

segmentos de mayor VAB como los aceros especiales y la metalurgia no férrea lo cual mejorará la IE, tal y como ha sucedido en otros países europeos.

En la tabla 4.8 se muestra la producción de acero en España en el año 2006, en la que destacan los productos de acero no aleado largos, que se utilizan en la construcción de viviendas e infraestructuras (ferroviarias principalmente). Estos productos tienen un menor valor añadido que los productos de primera transformación (fabricación de tubos, laminados y acero moldeado). Por ello, la conclusión más importante es que la construcción ha sido la principal responsable del incremento de producción de los metales básicos, que se ha centrado en las actividades con mayor IE.

**Tabla 4.8. Producción de acero en España en 2006.**

	<b>miles ton</b>
No aleado	16.387
Inoxidable	1.257
Aleado	747
<b>Acero</b>	<b>18.390</b>
<b>Laminados en caliente</b>	<b>18.308</b>
<b>Largo</b>	<b>12.364</b>
Alambrón en rollo	2.681
Redondos de hormigón en barras	4.599
Otros perfiles	1.951
Perfiles estructurales	2.912
<b>Planos</b>	<b>5.944</b>

*Fuente: UNESID, 2007.*

Según la patronal siderúrgica (UNESID, 2007) el consumo per cápita de acero en el país ha crecido desde los 348 Kg. de 1997 hasta los 527 Kg. en 2006.

Por último, el saldo comercial neto de productos siderúrgicos ha sido importador y supone el 31% del consumo de productos, pero los productos que se exportan son de mayor valor añadido, 953 € por tonelada exportada frente a los 580 € por tonelada importada (UNESID, 2007). Con ello se concluye que el comercio exterior no es el responsable de una IE de metales básicos comparativamente más alta, sino que en todo caso la podría favorecer.

Resumiendo, la rama de metales básicos ha conseguido mejorar su IE por la sustitución de combustibles en sus procesos de producción. Desde el año 1995 hasta 2006 la electricidad ha absorbido el incremento de la demanda y ha sustituido junto con el gas a la producción con carbón y fuel. Tanto la electricidad como el gas son más eficientes que los combustibles sustituidos pero generan unos consumos en las centrales de generación de electricidad que no se perciben en los consumos energéticos de este sector. La segunda conclusión es que la IE del sector cuando se consideran los consumos directos e indirectos, se reduce principalmente por la mejora de la eficiencia

del sector energético. Finalmente, el sector de metales básicos ha mejorado su nivel de IE, aunque no tanto como en la UE15 porque ha concentrado su actividad en productos de menor valor añadido destinados a la construcción de viviendas e infraestructuras.

## **B. MINERALES NO METÁLICOS**

La IE de los minerales no metálicos calculada en este capítulo ha crecido un 9% entre 1995 y 2006, tasa similar a la mostrada en el capítulo 3. En 2006, la IE de este sector fue un 42% superior a la de la UE15. De hecho, si la IE de España es 54 tep mayor que la de la UE15, este sector es responsable de 8,2 tep de esa diferencia. Este sector ha contribuido significativamente a la mala evolución del indicador de IE.

El sector de minerales no metálicos engloba la fabricación de cemento, vidrio, cerámica y otros productos minerales, actividades que están muy correlacionadas con la construcción de viviendas e infraestructuras, por lo que su evolución soporta las tendencias cíclicas de esa actividad.

El desarrollo de los países conlleva la inversión en infraestructuras necesarias para el crecimiento económico (carreteras, puertos, ferrocarriles) hasta un límite marcado por la ubicación geográfica y extensión. En España desde finales de los 80 las inversiones en infraestructuras, ayudadas por los fondos europeos, han estado encaminadas a superar los efectos de la situación periférica y las carencias de infraestructuras, lo cual ha generado una mayor movilidad, como se verá en el capítulo del transporte. En cuanto a la construcción de viviendas, se puede esperar que estas dotaciones sean similares a igual nivel de renta per cápita y la diferencia entre países puede venir de la compra de segundas viviendas para no residentes y cuestiones demográficas y culturales.

La construcción es una de las actividades que mayor impacto (directo e indirecto) tiene en el consumo energético de los sectores. Así, según Alcántara y Duro (2004), un incremento de un 1% de la demanda de la construcción provoca un impacto total de un 0,123% en el consumo energético final total. Estos autores clasifican los sectores en cuatro categorías en función de su impacto en el consumo energético (cuadro 4.4). La construcción, el transporte interior, la siderurgia, la química y la alimentación son los sectores clave que impulsan y son impulsados a consumir más energía. Estos resultados son similares a los obtenidos en este capítulo.

Según datos de la asociación española de productores de cemento (OFICEMEN, 2007) el consumo de cemento per cápita en España es el doble del europeo (1.126 Kg. per cápita frente a 527 Kg. pc). En el gráfico 4.7 se muestra la comparación per cápita de los VAB y consumos energéticos de la construcción (que incluye construcción y minerales

no metálicos<sup>30</sup>) para un conjunto de países que han aumentado su IE en el período analizado - Portugal, Austria, España y Grecia. En el resto de países la IE se ha estabilizado o reducido porque han alcanzado un nivel de saturación en la construcción o por la deslocalización de estas actividades.

**Cuadro 4.4 Clasificación de sectores en función de su impacto directo e indirecto.**

<p><b>A/ Sectores relevantes por la demanda de otros sectores</b></p> <p>Agricultura, Energía y Productos no metálicos. IT: 11,9%. ID: 26,2%</p>	<p><b>B) Sectores clave: impulsan y son impulsados a consumir energía</b></p> <p>Transporte interior* , Químico, Siderurgia y metalurgia no férrea, Otro transporte, Construcción y Alimentación. IT: 50,9 %. I.D: 57,1%</p>
<p><b>C/ Sectores poco relevantes</b></p> <p>Textil y Calzado, Papel e impresión, Otras manufacturas, Comercio, Otros servicios para la venta y Productos metálicos. IT14,4%. ID: 10%.</p>	<p><b>D) Sectores significativos desde la perspectiva de su demanda final</b></p> <p>Equipo de transporte, Restauración y hostelería y Otros servicios no destinados a la venta. IT: 23,1%. ID: 6,8%</p>

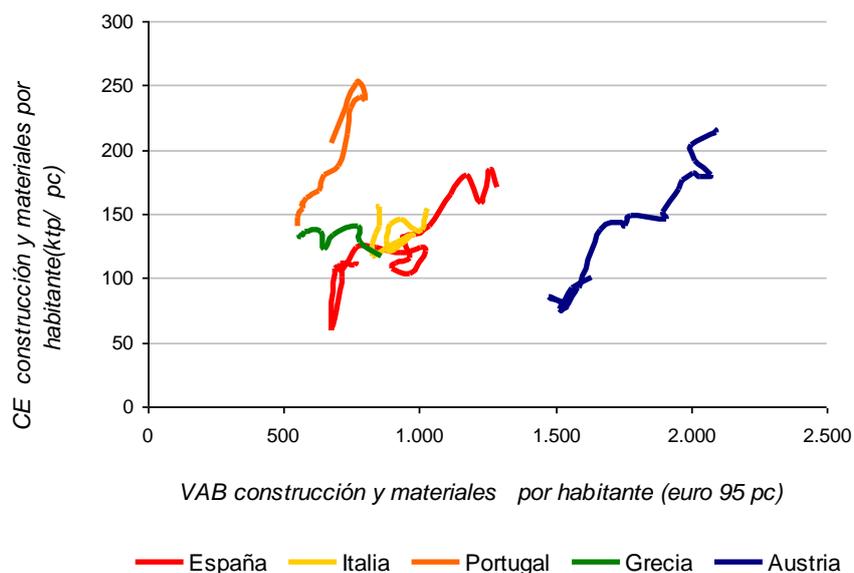
*Fuente: Elaboración propia a partir de Alcántara y Duro (2004: 10).*

La primera conclusión es que los mayores ratios de IE se producen en los países mediterráneos, lo cual se debe a un menor nivel de desarrollo y a la mayor dotación de infraestructuras para el turismo, tanto para establecimientos hoteleros como segundas residencias. En cierta manera ésta es una deslocalización de actividades intensivas en energía, que se podría acuñar bajo un concepto más amplio de “deslocalización del ocio” de los europeos. Entre los países más intensivos, Italia muestra cierta estabilización que puede deberse a la especialización productiva en la cerámica de mayor valor añadido. El caso austriaco denota una especialización productiva en este sector, que genera un mayor VAB per cápita (2.093 €/pc frente a 1.178 €/pc de la UE15) por lo que a pesar de situarse entre los países con un consumo energético más alto en este área, mantiene sin embargo unos niveles de intensidad muy reducidos (106 tep/M€).

España se sitúa entre los países con mayor IE debido al auge de la construcción, impulsada por el fuerte esfuerzo inversor en infraestructuras, por la construcción de viviendas y de segundas residencias para españoles y extranjeros y la especialización en la industria de la cerámica. Este último sector históricamente ha basado sus estrategias de venta en precio (a diferencia de Italia que lo ha hecho en diseño y calidad), lo cual influye negativamente en el indicador.

<sup>30</sup> Aunque incluye los minerales no metálicos no destinados a la construcción (por ejemplo vidrio hueco) puede dar una idea más precisa de cómo han evolucionado los países, porque estas actividades apenas contribuyen al total de la categoría.

**Gráfico 4.7. Desmaterialización en la construcción en la UE15.**



Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de los minerales no metálicos se destinan a la construcción de infraestructuras y viviendas, aunque no se dispone del desglose de consumo energético para esas dos actividades.

Como se aprecia en la tabla 4.9 la IE del cemento (2.030 tep/M€) es la más alta de todas las actividades. La fabricación de cemento se basa en una serie de transformaciones mineralógicas (cocción y molienda), que requieren abundantes cantidades de energía térmica y eléctrica, por lo que los costes energéticos representan más del 25% de los costes de fabricación (MINISTERIO DE ECONOMÍA, 2003).

**Tabla 4.9. Intensidad energética en los minerales no metálicos**

	CE (ktep)	VAB (M€)	IE (ktep/M€)
Cemento	2.962	1.460	2,0288
Vidrio	479	1.181	0,4056
Cerámica	2.547	2.508	1,0156
Otros	959	2.568	0,3734
Minerales no Metálicos	6.947	7.717	0,9002

Fuente: Elaboración propia a partir de MINISTERIO DE ECONOMÍA (2003) e INE (2008).

Para satisfacer la demanda térmica se ha recurrido en los últimos años al coque de petróleo, que ha duplicado su consumo en 10 años, y supone el 90% del consumo energético de la rama de minerales no metálicos. Este combustible, con un alto contenido en carbono, es un residuo de las refinerías con un precio reducido. Las importaciones de coque han pasado de 380 ktep en 1980 a 2.439 ktep en 2006, y

prácticamente en su totalidad provienen de Estados Unidos, donde casi “regalan” el combustible. De hecho su coste muchas veces se limita al del transporte. El coque de petróleo genera 4,18 ton CO<sub>2</sub>/tep frente a 2,34 ton CO<sub>2</sub>/tep del gas. Las restricciones medioambientales han hecho que otros países dejen de importar este combustible para la fabricación de minerales no metálicos, lo cual no ha sucedido todavía en España.

La fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos está muy sometida a la competencia internacional, en la que China es el primer productor de cerámica, seguido de España (con una cuota de mercado mundial del 30%) e Italia. El modelo de negocio español hasta la fecha ha estado basado en la cantidad (compitiendo con China) y no en la calidad (como ha hecho Italia), lo cual significa un menor VAB por producto. Además, para poder competir, el sector disfruta de unas tarifas especiales de gas (su principal consumo), aunque también es un sector pionero en la implantación de sistemas de cogeneración. En este sector existe un abanico de soluciones tecnológicas que harían posibles ahorros significativos en la próxima década, desde la regulación de la velocidad de motores, el control automático de humedad o la recuperación del calor de gases de horno, hasta la instalación de quemadores de alta velocidad en precalentamiento o la conversión de hornos de calentamiento indirecto convencionales en recuperativos (IDAE, 2003: 39). La conclusión de este análisis es que la cerámica, que aporta un tercio del VAB, mejoraría notablemente la IE sectorial si se concentrase en el segmento de productos de calidad.

En definitiva los sectores de minerales no metálicos y metales básicos son los principales responsables de que las diferencias entre la UE15 y España sean tan grandes en la IE industrial. No obstante a medida que la economía española se aleje de un modelo de crecimiento basado en la construcción y se terciarice, la IE se reducirá.

#### **4.3.5. El sector terciario clave en la evolución futura de la intensidad energética**

El sector servicios es la actividad económica que más VAB genera en los países europeos, con una aportación que varía entre el 50% y el 70% del PIB total. En España el sector servicios tiene un peso menor que en la media de la UE15 (gráfico 3.5).

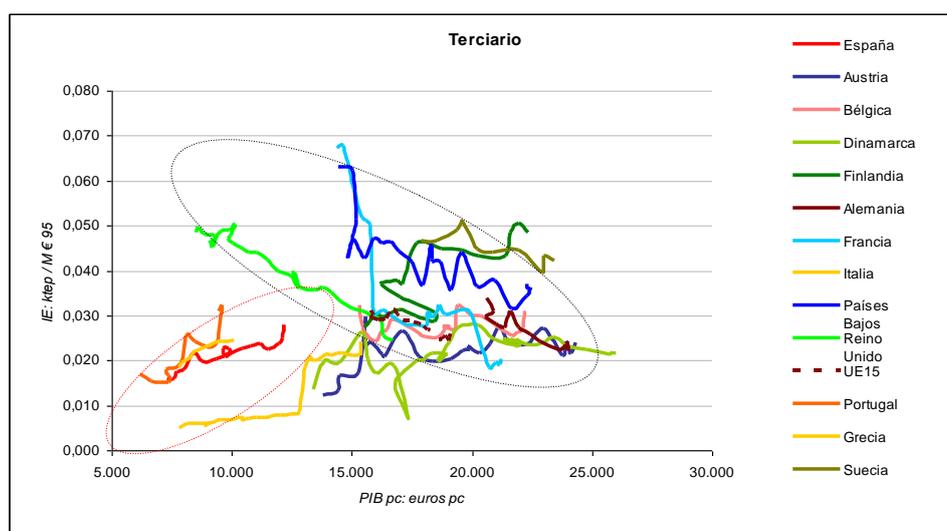
Si entre 1980 y 2006 en España la IE aumentó en 12,7 tep/M€, el sector servicios contribuyó en 6,7 tep/M€, en su mayor parte por el efecto intrasectorial (tabla 3.9). El sector servicios consume solamente el 6% de la energía primaria en España, mientras que contribuye con un 60% del VAB total, por lo que su IE es muy reducida. Pero si se tienen en cuenta los consumos indirectos su consumo equivale al 13% del consumo total, superior al de cualquier rama industrial. El continuo crecimiento de su consumo

energético (ha crecido un 277% entre 1980 y 2006) y el bajo porcentaje de la energía sobre los costes totales del sector, hacen que su consumo no siempre sea eficiente. La electricidad cubre el 70% de la demanda energética del sector y representa el 26% de todos los consumos eléctricos de 2006. La entrada tardía del gas a través de la conexión con el Magreb en 1996 hace que su participación sea todavía muy baja (8%), lo que ha hecho que los productos petrolíferos mantengan cuotas muy altas (20%).

En España, aproximadamente un 52% de los consumos energético del sector terciario se destinan a usos térmicos, un 22% para aire acondicionado y el resto (26%) para usos eléctricos (equipos ofimáticos, iluminación, etc.). No obstante las estadísticas energéticas del sector no son rigurosas ni fiables se debe realizar un esfuerzo importante para monitorizar su evolución.

La mayor parte de los países han reducido la IE de los servicios en el período analizado, mientras que los países mediterráneos han experimentado crecimientos en el indicador, alcanzando la misma IE que el resto de los países a pesar de disponer de un nivel de renta menor y un clima más benigno (gráfico 4.8).

**Gráfico 4.8. Desmaterialización en el sector servicios.**

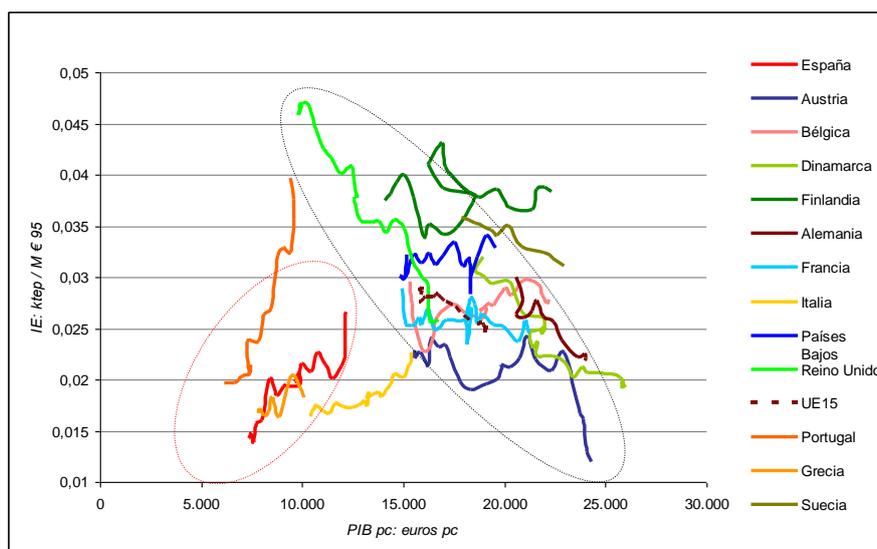


*Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a), IDAE (2006a) y EUROSTAT (2009a).*

Las condiciones climáticas influyen de manera decisiva en el indicador, ya que un 67% de los usos energéticos del sector terciario en los países europeos se destinan a calefacción. En los países mediterráneos el menor número de días fríos explica una parte de las diferencias en equipamiento para calefacción, por lo que existen más edificios insuficientemente climatizados o directamente sin calefacción, lo que conlleva unos menores consumos energéticos. Aunque, por otro lado, las temperaturas más calurosas del verano incrementan el uso del aire acondicionado y lo compensan

parcialmente. Cuando se ajusta la IE a las variaciones climáticas (gráfico 4.9) corrigiendo los valores de consumo energético a un nivel de año medio las tendencias se acentúan, y las IE de los países mediterráneos superan a los países del norte de Europa. Una de las razones es la utilización de calefacción eléctrica, que es globalmente más ineficiente, y la introducción masiva de aparatos de aire acondicionado.

**Gráfico 4.9. Desmaterialización en el sector servicios (ajustada a condiciones climáticas).**



Fuente: IDAE, 2006a.

**Tabla 4.10. Comparativa del desglose del VAB del sector terciario.**

	Comercio y hostelería	Oficinas	Serv. Públicos
Austria	30%	35%	35%
Bélgica	15%	49%	37%
Dinamarca	24%	36%	40%
Finlandia	24%	36%	40%
Francia	26%	40%	33%
Alemania	20%	46%	35%
Grecia	33%	35%	32%
Italia	28%	42%	30%
Luxemburgo	20%	58%	22%
Países Bajos	26%	38%	36%
Portugal	29%	37%	33%
<b>España</b>	<b>28%</b>	<b>35%</b>	<b>37%</b>
<b>UE - 15</b>	<b>22%</b>	<b>43%</b>	<b>35%</b>

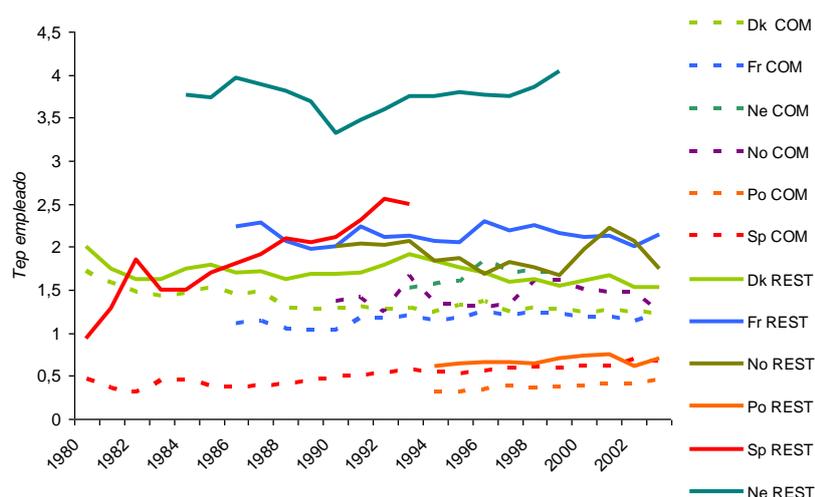
Fuente: Elaboración a partir de EUROSTAT (2009a) e INE (2008).

Otro aspecto importante es el diferente desglose de las actividades incluidas en este sector en Europa (tabla 4.10). La principal conclusión es que España se ha especializado en unas actividades terciarias como la hostelería y el comercio que son

más intensivas en el consumo de energía (61 tep/M€ y 27 tep/M€ respectivamente) que otras como las oficinas (14 tep/M€) (tabla 4.11).

Otro ratio que puede utilizarse para comparaciones internacionales sobre eficiencia energética es la energía por empleado, que se muestra en el gráfico 4.10. Las diferencias entre países están motivadas por la distinta importancia económica de cada rama de actividad y por las condiciones climáticas. Así, en la hostelería el indicador español crece y se sitúa en torno a los 2 tep/empleado, superior al resto de países como resultado de la estacionalidad de los consumos en este sector y la mayor demanda de climatización en España. Los indicadores para el comercio (0,6 tep/empleado), y la educación (0,2 tep/empleado) se sitúan en niveles inferiores a los europeos debido a la menor necesidad de calefacción, mientras que el consumo específico en los hospitales (0,9 tep/empleado) es similar al de otros países europeos (IDAE, 2006a).

**Gráfico 4.10. Eficiencia energética en el comercio y la hostelería.**



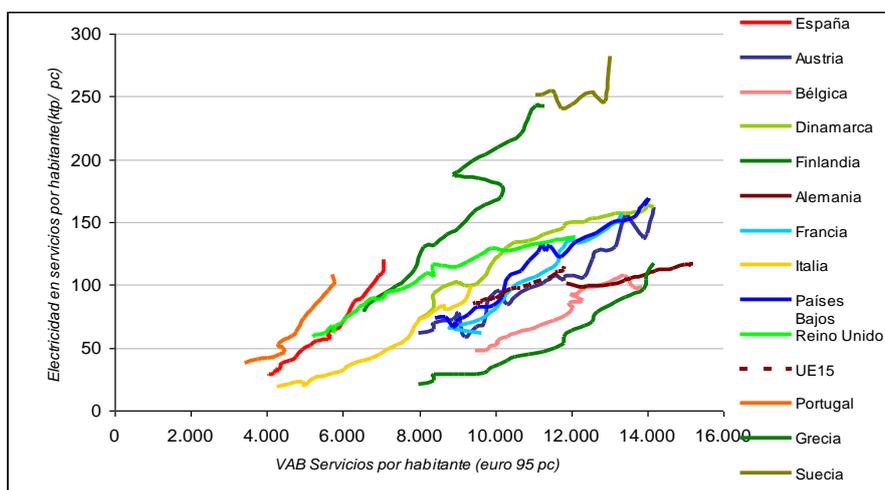
Fuente: IDAE, 2006a.

La conclusión es que es en la hostelería donde se producen las mayores diferencias de eficiencia, que además, empeora en el tiempo. Esto se debe a un mayor uso del aire acondicionado a diferencia de lo que sucede en los países europeos que mejoran la eficiencia por las mejoras introducidas en la calefacción por la introducción de sistemas de cogeneración y trigeneración.

El crecimiento del sector servicios ha llevado aparejado en todos los países europeos un fuerte incremento del consumo de electricidad (gráfico 4.11), ya que el aumento de actividad implica, por un lado, una mayor superficie abastecida en los edificios y, por tanto, se necesita más energía para el sistema de climatización (calor y frío) y para la iluminación y, por otro, un aumento del empleo y la proliferación de aparatos

eléctricos (fotocopiadoras, impresoras, faxes, ordenadores, etc.).<sup>31</sup> La tendencia generalizada de utilización de la electricidad como primer proveedor de servicios energéticos que muestran los países más ricos de la UE15 indica el camino que España seguirá probablemente en el futuro.

**Gráfico 4.11. Relación entre el VAB de los servicios y su consumo de electricidad.**



Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a), IDAE (2005) y EUROSTAT (2009a).

En España, las oficinas tienen una IE reducida, son las que generan, en términos absolutos, más valor añadido y las que consumen más energía. Esta evolución está influida por el crecimiento de la actividad de la rama de telecomunicaciones.

**Tabla 4.11. Estimación de la intensidad energética en el sector servicios.**

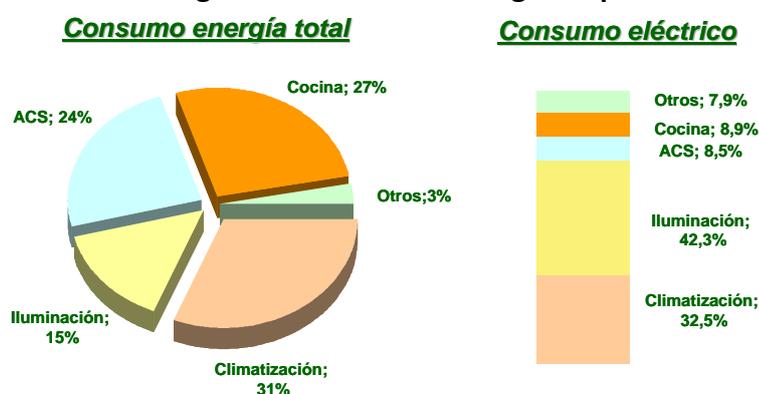
	CE (ktep)	VAB (M €)	IE (tep/M€)
Oficinas	2.340	166.628	14
Hospitales	780	26.785	29
Comercio	1.560	58.398	27
Hostelería	2.127	34.795	61
Educación	284	23.835	12
<b>Total Servicios</b>	<b>7.090</b>	<b>310.441</b>	<b>23</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de la Contabilidad nacional (INE, 2008), IDAE (2005: 84) e IDAE (2003: 80).

<sup>31</sup> En 2001, de las 800.000 empresas registradas en España, el 91% tiene equipamiento informático, siendo la media de casi 9 ordenadores por empresa (IDAE, 2004: 65)

Por otro lado, la hostelería es la actividad más intensiva en energía, con una IE de 61 tep/M€ para España. El incremento de la actividad turística<sup>32</sup> está parcialmente detrás de la actividad de hostelería y comercio. A una mayor demanda, que ha pasado de 35 millones de turistas en 1995 a 58 millones en 2006, se le añade una mejora de la calidad del servicio, lo cual da lugar a mayores consumos energéticos para satisfacer las necesidades de calefacción, climatización (de interiores y de piscinas) e iluminación. Según una encuesta del IDAE<sup>33</sup>, el consumo energético en los hoteles (incluyendo la restauración) representa un 30% de los consumos del terciario y se destina a climatización (31%), cocina (27%), ACS (24%) e iluminación (15%). El consumo de electricidad (35% del total) se utiliza principalmente para iluminación (42%) y climatización (32%) como se aprecia en el gráfico 4.12.

**Gráfico 4.12. Desglose del consumo energético por usos en hotel medio.**



Fuente: IDAE, 2001c: 73.

**Tabla 4.12. Demanda turística en España.**

Consumo turístico interior por productos (M € constantes)								
	1995	1996	1997	1998	1999(P)	2000(P)	2001(P)	2001 % sobre total
Servicios de alojamiento	11.627	11.827	12.398	12.972	13.674	13.809	13.986	22%
Restaurantes y similares	13.041	14.019	14.943	15.862	16.865	17.809	18.162	29%
Transporte de pasajeros	9.586	9.894	10.488	11.453	11.982	12.926	13.436	21%
Servicios de agencias de viajes	2.444	2.528	2.666	2.780	2.831	2.912	2.953	5%
Servicios cult/recreo/depor y otros AA.PP	1.675	1.739	1.827	1.993	2.074	2.198	2.289	4%
<b>Total productos específicos</b>	<b>38.373</b>	<b>40.007</b>	<b>42.322</b>	<b>45.059</b>	<b>47.425</b>	<b>49.655</b>	<b>50.826</b>	<b>81%</b>
Total productos no específicos	8.309	8.785	9.398	10.241	10.926	11.336	11.776	19%
<b>Total a precios básicos</b>	<b>46.682</b>	<b>48.792</b>	<b>51.721</b>	<b>55.300</b>	<b>58.351</b>	<b>60.991</b>	<b>62.602</b>	
<b>Crecimiento anual (%)</b>		<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>7%</b>	<b>6%</b>	<b>5%</b>	<b>3%</b>	

Fuente: Cuenta satélite del turismo de España. Serie contable 1995-2003, INE, 2006.

<sup>32</sup> El turismo abarca "actividades que realizan las personas durante sus viajes y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, por un período de tiempo consecutivo inferior a un año, con fines de ocio, por negocios o por otros motivos" (INE, 2004: 4).

<sup>33</sup> El IDAE realizó una encuesta a 150 establecimientos hoteleros de más de 50 habitaciones distribuidos a lo largo de todo el territorio nacional durante en el año 2001 (IDAE; 2001: 71-73) para obtener una primera aproximación a la distribución de los consumos por usos del sector.

El sector turístico es uno de los sectores económicos más importantes del país (aporta el 12% del PIB) y sus actividades más importantes son el alojamiento (22% del consumo total), la restauración (29%) y el transporte (21%), como se aprecia en la tabla 4.12.

La oferta de alojamientos no reglados (por ejemplo apartamentos de alquiler) alcanza cerca del 80% de la oferta total pero son los alojamientos reglados<sup>34</sup>, ubicados en el Mediterráneo y las islas, los que crean un mayor valor añadido, 10 veces más en promedio que los alojamientos no reglados (OSE, 2006: 220). Dentro de la oferta no reglada se incluye la segunda residencia, que tiene una superficie edificada mayor que el alojamiento en alquiler y mucho mayor que el hotel, lo cual disminuye “la rentabilidad socioeconómica integral de las actividades turísticas por el menor gasto diario generado en destino y su menor ocupación anual con relación a los estándares de la oferta turística reglada, y repercute, más allá del negocio inmobiliario y edificatorio inmediato, en una disminución relativa de la rentabilidad socioeconómica a medio y largo plazo obtenida por unidad territorial” (OSE, 2006: 220).

El modelo turístico desarrollado desde los años 70 ha derivado en una lógica de negocio basada en la combinación de bajos precios y amplios flujos turísticos de baja rentabilidad unitaria, especialmente en el Mediterráneo y las islas, con las contradicciones de carácter ambiental entre otras, que dicho modelo acaba generando en sus fases de madurez (desbordamiento ambiental, la falta de gestión integral, los cambios de comportamiento en la demanda y la debilidad de los destinos del interior). En términos cualitativos la actividad turística no está maximizando su valor añadido y, teniendo en cuenta que mantiene un ritmo de crecimiento considerable, beneficiado por la globalización y la facilidad de la movilidad, está perjudicando la IE española y la competitividad del sector.

La conclusión es que la actividad turística condiciona la evolución de la IE en España. La eficiencia energética es manifiestamente mejorable porque se genera poco valor por consumo energético en los alojamientos reglados, al estar enfocados al segmento de bajo coste, y porque predominan las segundas residencias en las que el consumo energético es bastante mayor que en los alojamientos reglados y el valor añadido es bastante menor.

Algunas de las recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética en el sector terciario son regulaciones sobre edificación y auditorías energéticas de edificios, etiquetado de calidad en el equipo informático, mayor penetración de las energías renovables, sobre todo en algunos usos como el agua caliente sanitaria (ACS) o la climatización, instalación de sistemas de gestión técnica para la automatización del

---

<sup>34</sup> Los alojamientos reglados alcanzaron las 2.358.000 plazas según la Asociación española de expertos científicos en turismo.

encendido y apagado de puntos de luz, calefacción y aire acondicionado, sistemas de ahorro de agua -especialmente importantes en zonas con escasez de este recurso- y bombas de calor. Finalmente, otras soluciones tecnológicas que se presentan y que requieren un volumen de inversión más elevado son la cogeneración<sup>35</sup> y trigeneración<sup>36</sup> (cogeneración con máquinas de absorción para la producción de frío) y los sistemas solares, especialmente, para el calentamiento de agua y la climatización de piscinas (IDAE, 2001c). Otra manera de reducir la IE es dar un giro hacia un turismo de mayor valor añadido y la ampliación de la oferta turística del interior del país, que tiene mucho potencial de desarrollo, además de ofrecer una alternativa para el sector agrario.

Otra cuestión que está insuficientemente analizada es cómo afecta el sector servicios al transporte privado, tanto de los trabajadores en comercio, hostelería y oficinas como de los clientes y turistas que acuden a comercios, restaurantes y hoteles. Esta cuestión excede el objetivo de esta tesis doctoral, pero sirva de apunte que este sector emplea al 65% de la población activa y que los trabajadores acuden a sus centros de trabajo en vehículo particular en el 61% de los casos, en bici o a pie en el 25% de las ocasiones y en transporte público en el 14% de los desplazamientos. En consecuencia un 53% de los transportes a distancias cortas, movilidad cotidiana, se destina a ir a trabajar (Encuesta Movilia de MFOM, 2009). Estas cifras no se pueden trasladar directamente al consumo energético del transporte, pero dan una idea de la importancia del sector.

## 4.4. Conclusiones

El objetivo principal de esta tesis es averiguar por qué la IE ha aumentado en los últimos años y es bastante superior a la de la UE15. En el capítulo 2 se ha puesto este análisis en el contexto de las teorías de desmaterialización. En el capítulo 3 se ha analizado la IE desde una perspectiva tradicional en la que se consideran sólo los consumos energéticos imputados a cada sector por los balances energéticos. En este capítulo se ha realizado un análisis de la IE que es diferente al habitual, puesto que se ha asignado a cada sector el consumo energético asociado al transporte y a la transformación de energía primaria en final (consumos indirectos).

---

<sup>35</sup> Generación conjunta de electricidad y calor, lo que hace que al aprovechar el calor residual de proceso se mejore sustancialmente el rendimiento frente a otro en el que sólo se genere electricidad.

<sup>36</sup> Generación conjunta de electricidad, calor y frío. El frío se consigue mediante un ciclo de absorción, que es un modo de refrigeración distinto al tradicional de compresión, cuyas mayores diferencias estriban en la sustitución de parte del consumo eléctrico por consumo térmico proveniente de una fuente de calor.

La metodología utilizada para ello propone opciones para solventar algunas deficiencias motivadas por la falta de información estadística desagregada. La utilización de información estadística que se publica anualmente permite replicar este ejercicio regularmente. Esta metodología ha permitido obtener conclusiones interesantes ocultas detrás de las altas cifras de IE de la energía y del transporte, lo cual es una contribución novedosa al análisis del balance energético español y de las IE.

El consumo energético de la transformación es especialmente cuantioso en el caso de la electricidad, por lo que en este capítulo se ha puesto de manifiesto cómo algunos sectores que aparecían en el capítulo 3 como sectores de baja IE no lo son tanto, por ejemplo el sector servicios. El proceso de conversión de la energía primaria depende de la medida en la que los productos energéticos han sido retransformados, de las pérdidas de distribución, de los cambios estructurales que implican un cambio en los productos energéticos utilizados y de los cambios en la eficiencia en la conversión energética de cada tecnología.

El reparto del consumo energético del transporte también ha cambiado el posicionamiento de los sectores en su contribución a la IE, como sucede con los minerales no metálicos, que se convierten en el sector que más ha impulsado la IE entre 1995 y 2006.

Al incluir los consumos indirectos se modifica el nivel de las IE sectoriales frente a los ratios calculados en el capítulo 3: metales básicos (711 tep/M€ frente a 397€/M€), química (643 tep/M€ frente a 349 tep/M€), alimentación (571 tep/M€ frente a 188 tep/M€) y agricultura (384 tep/M€ frente a 142€/M€).<sup>37</sup>

Las razones que explican un mayor nivel de IE en España y su evolución entre 1995 y 2006 son:

1. **Incremento de la demanda de transporte y de electricidad.** Los dos sectores que más energía consumen en España son el transporte y el sector eléctrico (incluido en el sector energético). El transporte de mercancías y viajeros es responsable de la mayor parte del incremento de la IE en España. Este comportamiento se compensa en parte por la mejora de la eficiencia energética del sector energético, que a su vez beneficia a los sectores cuando se les imputa el consumo asociado a su demanda. Cuando se reparten estos consumos energéticos a los sectores que demandan sus productos se descubre que la mayor parte del consumo de los sectores viene de proveedores de servicios energéticos, esto es transportistas o compañías eléctricas, y las acciones para mejorar la eficiencia energética de los sectores productivos se circunscriben principalmente a la gestión de la demanda y

---

<sup>37</sup> Se ajustan aquí los ratios del capítulo 3 a la agrupación de sectores del capítulo 4.

ahorro energético. En el caso de las compañías eléctricas en principio tienen incentivos económicos para mejorar la eficiencia energética en el suministro y sólo fomentarán la eficiencia energética de sus clientes cuando la lógica operativa y comercial lo aconseje. En el caso de las empresas transportistas, debido al tipo de producto transportado (alimentos, minerales no metálicos y productos agrícolas) existe poco margen para el cambio modal hacia modos más eficientes. Por otro lado los desarrollos tecnológicos no parecen haber avanzado lo suficiente para anticipar una mejora notable de la eficiencia de su flota. Resulta necesario, por tanto, hacer un análisis más detallado del sector del transporte, que se abordará en el capítulo 8.

2. **Fuerte peso del sector residencial en la evolución de la IE.** El sector residencial es el mayor consumidor de energía en el país (34% del total) e influye en la IE por sus consumos en los hogares y en el transporte. Cuando se incluyen los consumos indirectos, la influencia de los hogares en la IE se mitiga gracias a las mejoras de eficiencia del sector eléctrico (la electricidad representa el 36% del consumo de los hogares). En el caso del transporte privado, el incremento de la movilidad y la preferencia por utilizar el vehículo particular para sus desplazamientos ha impulsado la IE total de forma significativa. Dada la importancia del consumo energético de las familias se analizará con mayor detalle en los capítulos 7 y 8 cuales son las claves de su consumo y qué medidas se pueden impulsar para modificar su comportamiento.
3. **Especialización económica.** El alto porcentaje de VAB producido por la construcción y la agricultura en relación a otros países europeos hace que España sea estructuralmente más intensiva en energía. En el período analizado la agricultura ya empieza a reducir la IE por el efecto estructural y es previsible que ocurra lo mismo a partir del año 2008 para la construcción, convergiendo así hacia la estructura económica de los países europeos más avanzados. Un hecho destacable es que en el año 2006 la IE se redujo tanto en la industria que permitió compensar la mala evolución hasta 2004. Además los datos muestran que también la economía española concentra sus actividades en subsectores de menor valor añadido como en el caso de la siderurgia asociada a la construcción. Pero incluso en actividades menos intensivas en energía, como es el sector de servicios, los datos muestran que la actividad económica se concentra en aquellas ramas – hostelería- que necesitan relativamente más energía.
4. **La industria no mejora tanto.** La industria ha tenido un buen comportamiento entre 1980 y 2006 y los mayores avances se producen en las actividades industriales más intensivas en energía -metales básicos y minerales no metálicos. No obstante a partir de 1995 las IE muestran repuntes y su evolución no ha sido

tan buena como en la UE15, lo cual les hace responsables de una buena parte de la diferencia de IE con la UE15.

- a. En los metales básicos la mejora de IE se debe a la sustitución de carbón y fuel por electricidad y gas en sus procesos de producción debido a la sustitución del acero integral por el acero eléctrico. Por ello, una parte importante de sus consumos indirectos se producen en las centrales eléctricas. Cuando se incluyen estos consumos junto con el transporte la evolución es incluso más favorable por la mejora de la eficiencia que se ha producido en el sector energético en el período analizado. Este sector se concentra en los productos de mayor IE ligados a la construcción de viviendas e infraestructuras y, por ello, su nivel de IE es muy superior al de la UE15.
  - b. Los minerales no metálicos son la rama industrial que más influye en la evolución de la IE cuando se incluye los consumos indirectos. Su producción se destina principalmente a la construcción de infraestructuras y viviendas. Entre éstas últimas destaca el fuerte incremento de la demanda de segunda vivienda, lo cual a su vez influye en el incremento de la movilidad de las familias (véase capítulo 8). Su influencia en la IE es doble por su peso en la economía y el empeoramiento de su eficiencia. Este efecto es más intenso de lo que se manifiesta en un análisis tradicional. Resulta notable el efecto arrastre que produce en el transporte. Una cuestión para reflexionar es que el coste del transporte no es lo suficientemente significativo como para modificar este modelo de negocio.
5. El sector terciario ha experimentado un fuerte crecimiento de su actividad y de su consumo energético que impulsa al alza la IE total, aunque mantiene una IE reducida y ligeramente inferior a la de la UE15. La inclusión de los consumos indirectos en este sector tiene como efecto una mitigación de su contribución a la IE total por las mejoras de eficiencia en el sector energético. La economía española se ha especializado en actividades como la hostelería y el comercio, que son más intensivas en el consumo de energía, y su crecimiento está influido por el fuerte peso del turismo en nuestra economía. Un giro del turismo hacia áreas de mayor valor añadido tiene mucho potencial y reconduciría al sector hacia una mayor sostenibilidad energética y ambiental.

Las conclusiones presentadas invitan a reflexionar sobre el modelo económico español que está basado en sectores que conducen a la insostenibilidad del modelo energético.

El éxito económico español se ha basado en una parte importante en un sector de bajo valor añadido como la construcción en vez de lograrlo a través de la educación, la formación y el desarrollo tecnológico.

La IE en España es víctima del modelo económico español, donde la construcción masiva y el turismo de bajo coste han proporcionado crecimiento económico espectacular, pero implican fuertes demandas de energía en varias ramas de actividad. Mientras, las economías más avanzadas en la UE15 se han especializado en actividades de mayor valor añadido. Por ello, la diferencia de nivel de la IE entre España y la UE se debe al distinto grado de desarrollo económico, a la especialización productiva y al clima.

El análisis de los consumos directos e indirectos de los sectores ponen de manifiesto que la electricidad y el transporte se han convertido en los principales proveedores de servicios energéticos, esto es, el servicio de dar electricidad para consumos finales (iluminación, calefacción, etc.) y de dar movilidad a familias y empresas. En ambos sectores las IE son muy altas, por lo que cualquier acción para mejorar su eficiencia energética tendrá un efecto muy importante sobre la IE total. Los sectores demandantes de estos servicios, por su parte, pueden contribuir a la mejora de la IE con políticas de gestión de la demanda, pero sobre todo evolucionando hacia actividades de mayor valor añadido.

## ***5. La mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores***

5.1. Introducción.....	164
5.2. Análisis de los factores determinantes de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	167
5.3. Utilización de la intensidad energética para evaluar la evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	176
5.4. Simulaciones a 2020 de diferentes escenarios.....	183
5.5. Conclusiones .....	188

## 5.1. Introducción

En los últimos años el incremento generalizado de las temperaturas, las catástrofes naturales y la constatación del deterioro ambiental del planeta han puesto el foco de atención en los efectos que la actividad humana está provocando en el clima. El cambio climático es uno de los principales retos medioambientales a los que se enfrenta la humanidad, con efectos sobre la salud, el bienestar social y la economía global. La temperatura media en la superficie terrestre se ha incrementado a lo largo del siglo XX en alrededor de 0,6 °C y, según las predicciones, registrará aumentos de entre 1,4°C y 5,8 °C en el periodo 1990-2100, lo que podría producir pérdidas entre el 5 y el 6% del PIB mundial (Stern, 2006). Los efectos del Cambio Climático son ya visibles en todo el mundo. El caso español no es la excepción.

La posibilidad de medir el impacto de la actividad humana sobre el clima a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha impulsado iniciativas gubernamentales y empresariales, que buscan estabilizar las emisiones en un nivel que mantenga los incrementos de temperatura en un rango admisible. En el contexto post-Kioto los países en vías de desarrollo también deben jugar un papel fundamental ya que, a medida que sus economías crezcan, sus emisiones superarán con creces las de los países más avanzados. Por ello, es muy importante que este crecimiento se lleve a cabo con las mejores tecnologías disponibles, que pueden favorecerse con proyectos de desarrollo limpio y con un reparto de responsabilidades de reducción justo y equitativo, por ejemplo bajo un escenario de “convergencia y contracción”. La convergencia implica un crecimiento de las emisiones de los países en desarrollo hasta un nivel admisible y la contracción una reducción de las emisiones de los países más avanzados, también hasta un nivel adecuado.

Los países ya están anunciando sus propuestas de reducción de emisiones de cara a la Cumbre del Clima de Copenhague, aunque la mayor parte prefieren fijarlos para el muy largo plazo, esto es, el año 2050, y sólo algunos han aportado objetivos para 2020.

La Unión Europea ha asumido como prioridad estratégica luchar contra el cambio climático, para lo cual ha establecido nuevos objetivos de reducción de emisiones, planes de mejora de la eficiencia energética y aumentos de la participación de tecnologías limpias de generación. La integración medioambiental en las políticas europeas se recoge en el Tratado de la Unión Europea y el liderazgo europeo está siendo fundamental para propiciar un efecto de arrastre sobre el resto de países. En concreto, Europa ha propuesto el objetivo de reducir las emisiones en un 20% respecto al año 2005 como mínimo y, si otros países adquieren unos compromisos similares, se aumentaría dicho objetivo al 30%. El reparto de esa reducción de emisiones entre países se está efectuando en dos fases. En primer lugar se ha asignado un objetivo de

reducción o aumento de las emisiones de los sectores difusos. Estos sectores son aquellos que no están incluidos en la Directiva de Comercio de Emisiones (Directiva 2003/87/CE) y que por sus características son difíciles de cuantificar individualmente. Los principales sectores difusos son el transporte, el sector servicios y el sector residencial, pero también se incluyen los residuos, la agricultura, y algunos procesos industriales. La segunda fase comprende una negociación a nivel europeo de cómo se va a repartir el objetivo de reducción de emisiones entre los sectores incluidos en la Directiva de comercio de emisiones. Esta vez el reparto se realizará por sectores para impedir que los países usen los Planes de Asignación como herramienta para que ciertas industrias intensivas en energía aumenten su competitividad por un reparto más generoso.

Cuando se analizan los progresos en reducción de emisiones en los últimos años, no parece que los Gobiernos estén avanzando al ritmo de los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones de GEI que se están marcando. Según el protocolo de Kioto los países incluidos en el Anexo I deberían reducir sus emisiones de GEI en un 5,2% para el promedio de emisiones del período 2008-2012. Esta reducción es el resultado de los diferentes objetivos de reducción para los países integrantes del Anexo I. En el caso de la UE se acordó una reducción del 8% y dentro de este objetivo se incluye el objetivo para España de sólo aumentar las emisiones en un 15%. La tabla 5.1 recoge los datos más recientes de emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la combustión energética, publicados por la IEA (IEA, 2009a). Estas emisiones representan en torno al 80% de las emisiones de GEI. Se muestra el objetivo de cada país y el crecimiento de las emisiones entre 1990 y 2007.

**Tabla 5.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> y compromisos asumidos en el protocolo de Kioto.**

	Emisiones de CO <sub>2</sub> 1990 Mton CO <sub>2</sub>	Emisiones de CO <sub>2</sub> 2007 Mton CO <sub>2</sub>	Objetivo protocolo de Kioto %	Crecimiento emisiones CO <sub>2</sub> 1990-2007 %	CO <sub>2</sub> per capita 2007 t CO <sub>2</sub> pc	Objetivo en CO <sub>2</sub> per capita* t CO <sub>2</sub> pc	PIB per capita USD PPP	Porcentaje energía fósil %
Alemania	950,42	798,44	-21	-16,0%	9,71	9,13	28.147	87%
Austria	56,2	69,66	-13	24,0%	8,38	5,88	32.032	88%
Bélgica	107,88	105,95	-7,5	-1,8%	9,97	9,39	30.469	78%
Dinamarca	50,38	50,46	-21	0,2%	9,24	7,29	31.469	96%
<b>España</b>	<b>205,85</b>	<b>344,7</b>	<b>+15</b>	<b>67,5%</b>	<b>7,68</b>	<b>5,27</b>	<b>24.166</b>	<b>86%</b>
Finlandia	54,4	64,44	0	18,5%	12,19	10,29	31.155	75%
Francia	352,11	369,31	0	4,9%	5,81	5,54	27.339	56%
Grecia	70,13	97,84	+25	39,5%	8,74	7,83	23.962	97%
Irlanda	30,63	44,14	+13	44,1%	10,13	7,94	36.677	98%
Italia	397,79	437,56	-6,5	10,0%	7,38	6,27	26.473	93%
Luxemburgo	10,47	10,73	-28	2,5%	22,35	15,70	65.000	91%
P. Bajos	156,59	182,2	-6	16,4%	11,13	8,99	32.604	96%
Portugal	39,28	55,2	+27	40,5%	5,2	4,70	17.751	91%
Suecia	52,75	46,2	+4	-12,4%	5,05	6,00	32.602	54%
Reino Unido	552,97	523,01	-12,5	-5,4%	8,6	8,60	30.152	92%
<b>UE15</b>	<b>3087,85</b>	<b>3199,84</b>	<b>-8</b>	<b>3,6%</b>	<b>8,2</b>	<b>7,26</b>	<b>27.809</b>	<b>82%</b>

\*Se calcula dividiendo por la población de 2007.

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

Europa, que ha apostado fuerte por luchar contra el cambio climático, difícilmente cumplirá con los objetivos marcados en el protocolo de Kioto. El caso de España es mucho peor. Las emisiones de GEI en 2007 superan en un 52% las de 1990, y las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 67%, lo cual no sólo está lejos del objetivo del 15% pactado, sino que también está muy alejado del 37% estimado en el Plan Nacional de Asignación 2008-2012 del Gobierno. Los datos de emisiones de CO<sub>2</sub> muestran que España es el país de la UE15 que peores resultados ha conseguido. La UE15 en su conjunto ha aumentado las emisiones en un 3,6%, pero si no se incluye España estas habrían disminuido un 1%. Por lo que España es responsable en buena medida de la evolución negativa de las emisiones de la UE15.

No obstante, la perspectiva cambia según el parámetro que se considere. Si se analizan las emisiones per cápita, las españolas se encuentran por debajo de la media europea (7,7 ton CO<sub>2</sub> per cápita frente a 8,2 ton) y el objetivo asignado a España, teniendo en cuenta las cifras de población del año 2007, es el más duro después del de Portugal. Así, permitir que las emisiones crezcan en el período de Kioto un 15% significa que las emisiones per cápita se sitúen en 5,3 ton CO<sub>2</sub> per cápita. Esta cifra es de las más bajas y un 27% inferior a la media de la UE15. Por otro lado, el objetivo de Alemania (-21%) y Reino Unido (-12,5%) no es tan ambicioso como parece, puesto que todavía permite unas emisiones per cápita un 26% y un 18% por encima de la media europea.

El esfuerzo de mitigación por país debe tener en cuenta la especialización productiva, la población y el clima, que son aspectos estructurales que pueden tener una influencia significativa en las emisiones de cada país. El problema está en que es difícil prever hacia qué actividades se especializarán los países o cómo evolucionará la inmigración en Europa, por lo que la asignación de objetivos siempre tendrá una parte de arbitrariedad. En concreto, los objetivos asignados a España muestran una clara falta de previsión por parte de los Gobiernos que los pactaron respecto a la evolución del PIB y de la población.

Por otra parte, el índice de carbonización del suministro energético es todavía muy elevado en la UE15 y en España, situándose por encima del 80% en la mayor parte de los casos y con las notables excepciones de Francia y Suecia, que consiguen unos ratios en torno al 50% por la elevada participación de la energía nuclear. Las energías renovables necesitan todavía apoyos económicos para ser competitivas; algunos dicen que lo serían si se internalizase el coste ambiental, pero el bajo precio del mercado de emisiones no está ayudando en ese sentido.

En este capítulo se examinarán todas estas cuestiones. En primer lugar se analizan las emisiones de CO<sub>2</sub> de la UE15 y de España para todos los años en los que se dispone de información estadística, aunque se centra el análisis en la evolución de las mismas desde el año 1990. En segundo lugar, se estudia la utilidad del indicador de IE para el

análisis y la comparación entre países de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En tercer lugar se realizan unas simulaciones a 2020 de cuántas emisiones se podrían reducir con distintas acciones, antes de terminar con las conclusiones.

## 5.2. Análisis de los factores determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Los factores que influyen en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los países son la demanda de energía y las fuentes energéticas utilizadas para abastecer esa demanda. La demanda de energía depende del crecimiento y de la composición de la estructura productiva del país y de la población. Estos factores están interrelacionados entre sí. Así, la población depende en parte de las perspectivas económicas de las familias, de los aspectos sociológicos y de la inmigración. La inmigración depende de la facilidad (legal, cultural, social) para integrarse en el país y de las perspectivas económicas. La evolución de la población y la renta per cápita determinan la demanda de energía en los hogares y en el transporte. La estructura productiva tiene una influencia significativa en el consumo energético del país como se ha visto en los capítulos 3 y 4.

Por su parte el abastecimiento energético con fuentes de bajas emisiones depende de la disponibilidad de recursos energéticos autóctonos. Países con importantes reservas de carbón utilizarán mayoritariamente este combustible. En los lugares con abundante recurso eólico, los parques eólicos son más competitivos y pueden incluso no necesitar apoyos. Pero en la mayor parte de los países el abastecimiento energético está diversificado. Ahora bien, esa diversificación varía mucho en función del sector, desde el transporte con un 98% de su abastecimiento que proviene de productos petrolíferos, hasta el sector eléctrico en el que ninguna fuente energética aporta más del 30% de su consumo energético.

A continuación se analiza la evolución de los principales determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub>, partiendo de la identidad de Kaya (Kaya, 1989), que es muy utilizada en análisis de este tipo.

### **A. METODOLOGÍA**

De la misma manera que se puede desagregar la IE en distintos factores por sectores, numerosos estudios han utilizado la identidad de Kaya para identificar cuáles han sido los factores impulsores del crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La identidad de Kaya es la siguiente:

$$EmisionesCO_2 = Población \times \frac{PIB}{Población} \times \frac{TPES}{PIB} \times \frac{EmisionesCO_2}{TPES} \quad (1)$$

Las emisiones dependen de la población, la renta per cápita, la IE y las emisiones medias del abastecimiento energético. Este último factor se puede descomponer a su vez en el porcentaje del abastecimiento energético que se realiza con energías fósiles y el factor de emisión de las energías fósiles, resultando así la siguiente ecuación explicativa:

$$EmisionesCO2 = Población \times \frac{PIB}{Población} \times \frac{TPES}{PIB} \times \frac{Fósiles}{TPES} \times \frac{EmisionesCO2}{Fósiles} \quad (2)$$

La variación de alguno de estos factores puede tener una influencia muy importante en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los países. Así, un incremento pequeño de la población o de la renta per cápita puede provocar un fuerte impacto en las emisiones del país. Por otro lado la reducción de la IE, la mayor penetración de las energías renovables o la sustitución de gas por carbón pueden contener el crecimiento de las emisiones derivadas de los dos primeros factores.

A continuación se realiza la desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en esos cinco factores. Para ello, se definen las variables que se utilizan para el año *t*:

$C^T$  = Emisiones de CO<sub>2</sub> en el momento temporal *t*.

$Y^T$  = PIB en el momento temporal *t*.

$P^T$  = Población en el momento temporal *t*.

$E^T$  = consumo energético total en el momento temporal *t*.

$F^T$  = energía fósil consumida –carbón, petróleo, productos petrolíferos y gas- en el momento temporal *t*.

$I^T$  = IE ( $=E^t/Y^t$ ) en el momento temporal *t*.

$T^T$  = coeficiente de emisiones de CO<sub>2</sub> por energía consumida ( $=C^t/TPES^t$ ) en el momento temporal *t*.

$M^T$  = porcentaje de energía fósil consumida respecto al total ( $=F^t/TPES^t$ ) en el momento temporal *t*.

La variación de las emisiones en un país *i* entre el año 0 y el año *t* se puede descomponer de forma aditiva en los siguientes efectos:

$$\Delta C = C^T - C^0 = T_{eff} + M_{eff} + I_{eff} + Y_{p_{eff}} + P_{eff}$$

donde:

$T_{eff}$  = es el efecto de coeficiente de emisiones, i.e. el cambio de las emisiones por unidad de energía fósil.

$M_{eff}$  = es el efecto sustitución, esto es el cambio del porcentaje de energía total satisfecha con energía fósil.

$I_{eff}$  = es el efecto intensidad, esto es el cambio en el ratio de IE.

$Yp_{eff}$  = es el efecto renta, esto es el cambio en la renta per cápita.

$P_{eff}$  = es el efecto población, esto es la variación de los habitantes del país.

Estos efectos se pueden calcular siguiendo la metodología LMDI I presentada en el capítulo 3. En este caso se utiliza el método aditivo.

El coeficiente de emisiones ( $T_{eff}$ ) puede aumentar si el porcentaje de carbón aumenta con respecto al del gas.

$$T_{eff} = \left[ C^T - C^0 \right] \times \left\{ \frac{T^T / T^0}{C^T / C^0} \right\}$$

Un menor ratio de combustibles fósiles utilizados para el abastecimiento energético puede reducir las emisiones, por ejemplo porque las energías renovables las sustituyen.

$$M_{eff} = \left[ M^T - M^0 \right] \times \left\{ \frac{M^T / M^0}{C^T / C^0} \right\}$$

Las emisiones pueden reducirse si disminuye la IE, tanto por cambios en la estructura como en la intensidad intrasectorial, como se ha visto en los capítulos 3 y 4.

$$I_{eff} = \left[ I^T - I^0 \right] \times \left\{ \frac{I^T / I^0}{C^T / C^0} \right\}$$

Un aumento de la renta per cápita genera mayor demanda de energía, que produce más emisiones.

$$Yp_{eff} = \left[ Yp_i^T - Yp_i^0 \right] \times \left\{ \frac{Yp_i^T / Yp_i^0}{C_i^T / C_i^0} \right\}$$

Finalmente, un aumento de población repercute en las emisiones, puesto que todas las personas necesitan energía cotidianamente.

$$P_{eff} = \left[ P^T - C^0 \right] \times \left\{ \frac{P^T / P^0}{C^T / C^0} \right\}$$

## **B. DATOS**

Para realizar este análisis se utilizan los datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía. La serie utilizada abarca los años 1960 a 2007. Se utilizan las emisiones de CO<sub>2</sub> de la combustión energética medidas en millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Mton CO<sub>2</sub>) siguiendo el enfoque sectorial<sup>38</sup> El porcentaje de combustibles fósiles respecto al suministro energético total se calcula a partir de los balances energéticos (IEA; 2008a). Se utiliza el PIB ajustado a la paridad de poder de compra (mil millones de USD del año 2000), por lo que los resultados no son comparables con los mostrados en los capítulos 3 y 4.

Los datos de la IEA difieren de los de los inventarios preparados por el Gobierno español y presentados a Naciones Unidas. La IEA considera sólo la combustión de CO<sub>2</sub> de todos los sectores, siguiendo la estructura de los balances energéticos. Sin embargo los inventarios tienen unas categorías diferentes, abarcan las emisiones de CO<sub>2</sub> no ligadas a la combustión energética e incluyen otros gases. No obstante la evolución es similar, debido a que los datos de la IEA representan en torno al 80% de las emisiones totales.

### **5.2.1. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España**

Se analiza a continuación cómo han evolucionado las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus factores explicativos, haciendo especial hincapié en la evolución entre 1990 y 2007 (véase la tabla 5.2). En ese período, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron un 67%, la IE se redujo un 4%, los combustibles fósiles aumentaron su participación en el mix energético hasta el 87% y el coeficiente de emisión medio se redujo muy ligeramente. Por otro lado, el aumento de la renta per cápita y la población parecen ser los principales impulsores de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España.

---

<sup>38</sup> El enfoque sectorial contiene las emisiones totales de CO<sub>2</sub> derivadas de la combustión de energía (calculado usando el IPCC Tier 1 Sectoral Approach que corresponde a la categoría del IPCC 1 A). Así los datos incluyen sólo las emisiones cuando el combustible ha sido quemado. El enfoque de referencia se basa en la oferta energética a un país e incluye las emisiones fugitivas de la transformación energética (por ejemplo de las refinerías) que se incluyen en la Categoría 1 B (véase IEA, 2009 pp 8 para más detalle).

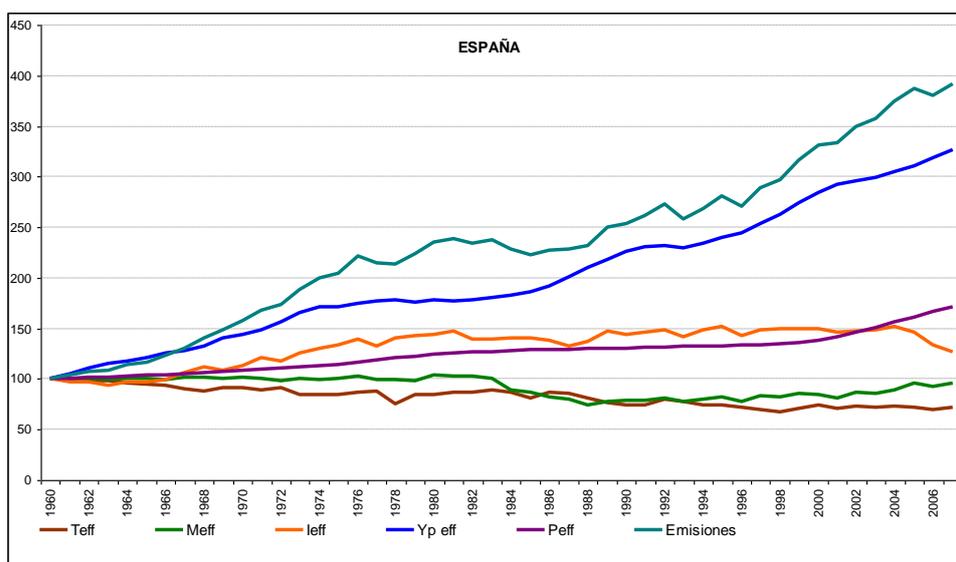
**Tabla 5.2. Indicadores de Kaya para España.**

	Emisiones de CO2 Mton CO2	IE Tep/M€	Porcentaje	Coeficiente de Emisión Mton / tep	Población M	PIB 000 M USD PPP	CO2 per capita t CO2 pc	PIB per capita USD PPP
			combustibles fósiles %					
1990	206	138	82%	2,789	39,01	650.690	5,28	16.680
1991	213	140	82%	2,785	39,08	667.260	5,46	17.074
1992	225	141	83%	2,851	39,18	673.460	5,74	17.189
1993	211	137	82%	2,834	39,26	666.510	5,37	16.977
1994	221	141	82%	2,785	39,33	682.400	5,62	17.351
1995	234	144	83%	2,784	39,39	701.210	5,93	17.802
1996	223	138	82%	2,750	39,48	718.160	5,65	18.190
1997	241	142	84%	2,730	39,58	745.940	6,09	18.846
1998	249	142	83%	2,704	39,72	779.270	6,27	19.619
1999	269	142	84%	2,738	39,93	816.260	6,73	20.442
2000	284	142	84%	2,773	40,26	857.480	7,05	21.299
2001	285	141	83%	2,745	40,72	888.760	7,01	21.826
2002	302	141	85%	2,762	41,31	912.790	7,30	22.096
2003	310	142	84%	2,755	42,01	941.060	7,37	22.401
2004	327	143	85%	2,760	42,69	971.800	7,67	22.764
2005	340	141	87%	2,750	43,4	1.006.950	7,83	23.202
2006	332	135	86%	2,729	44,07	1.045.820	7,54	23.731
2007	345	133	87%	2,754	44,65	1.085.800	7,72	24.318
<b>Crec. 90-07</b>	<b>67%</b>	<b>-4%</b>	<b>6%</b>	<b>-1%</b>	<b>14%</b>	<b>67%</b>	<b>46%</b>	<b>46%</b>

Fuente: IEA (2009a).

En el Gráfico 5.1 se muestran los resultados de la desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España siguiendo la metodología expuesta para cada año (esto es 1960-1961, 1961-1962, ..., 2006-2007) en los cinco efectos descritos, y se transforman en índice con 1960 como base 100. Las emisiones totales son la suma de los efectos de población, renta per cápita, IE, coeficiente de emisiones y sustitución.

**Gráfico 5.1. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para España (1960=100).**



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

El crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> es más acentuado en la década de los 60 y a partir del año 1990. Estos crecimientos coinciden con los períodos de mayor

crecimiento del PIB, que es el principal responsable de la evolución. La población también impulsa las emisiones, sobre todo a partir del año 1999. Entre 1990 y 2007 las emisiones de CO<sub>2</sub> han crecido más que las de otros gases (67% frente al 52% del total de emisiones GEI) y lo han hecho al mismo ritmo que el PIB. La población ha crecido un 14% en el período analizado, mientras que en la UE15 el incremento ha sido del 6%. Como consecuencia la renta per cápita ha crecido un 46% (frente al 33% de la UE15) y las emisiones per cápita han aumentado al mismo ritmo.

Entre 1960 y 2007 las emisiones en España se han incrementado en 292 Mton CO<sub>2</sub>. El empeoramiento de la IE es responsable de 47 Mton CO<sub>2</sub>. Cuando se analiza el período 1990-2007, el efecto intensidad reduce ligeramente las emisiones de CO<sub>2</sub>: un -4% en España<sup>39</sup>, pero este porcentaje es insignificante cuando se compara con la media de la UE15 (-20%). En su conjunto la mejora en la IE, junto con el efecto sustitución de combustibles, son inferiores al incremento por el efecto renta y población.

Los combustibles fósiles aportan un porcentaje creciente del abastecimiento energético en el país. Esto se debe a que en el año 1990 la generación hidráulica y nuclear suponían el 50% de los consumos energéticos para la generación total, frente al 30% de 2007. Además, el transporte ha aumentado su participación en la demanda total desde el 24% hasta el 27% sin que se otros combustibles lo sustituyan.

Finalmente, las reducciones de emisiones por el efecto de la mejora en los coeficientes de emisión y de la sustitución de combustibles han sido muy reducidas. Esto significa que no se ha producido la deseada descarbonización del suministro energético.

### **5.2.2. Comparación con la UE15<sup>40</sup>**

En la Tabla 5.3 se muestran los resultados de la desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países de la UE15 entre 1990 y 2007 en los cinco efectos descritos. La diferencia de emisiones entre 1990 y 2007 es la suma de los efectos de población, renta per cápita, IE, coeficiente de emisiones y sustitución. La suma de los efectos de cada país resulta en el efecto de la UE15.

En general las emisiones de los países se incrementan por el efecto renta y en menor medida por el efecto población. Estos crecimientos se ven compensados sobre todo por la mejora de la IE y en menor medida por los mejores coeficientes de emisión por la sustitución de carbón por gas en la generación de electricidad. El efecto sustitución de energía fósil por energía renovable o nuclear es muy reducido, puesto que la

---

<sup>39</sup> Estos resultados no son comparables con los del capítulo 3, por abarcar diferente período temporal y calcularse con el PIB ajustado a la paridad de compra.

<sup>40</sup> Se compara con la UE15 porque fueron los que firmaron el Protocolo de Kioto en 1997. Además, se ha utilizado esta misma referencia en los otros capítulos.

construcción de nuevas centrales nucleares se ha frenado y, por otro lado, las energías renovables han crecido al ritmo de crecimiento de la demanda de energía.

**Tabla 5.3. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE15 entre 1990 y 2007 (Mton CO<sub>2</sub>).**

	<b>Emisiones</b>	<b>Peff</b>	<b>Yp eff</b>	<b>I eff</b>	<b>Meff</b>	<b>Teff</b>
<b>Alemania</b>	-152	32	220	-304	-6	-94
<b>Austria</b>	40	7	61	-16	-2	-11
<b>Bélgica</b>	-2	6	31	-19	-1	-19
<b>Dinamarca</b>	0	3	16	-13	1	-7
<b>España</b>	139	36	102	-12	16	-3
<b>Finlandia</b>	10	3	21	-9	1	-6
<b>Francia</b>	17	29	85	-56	-41	1
<b>Grecia</b>	28	6	37	-10	-1	-5
<b>Irlanda</b>	14	8	31	-24	-1	-1
<b>Italia</b>	40	15	79	-13	-4	-37
<b>Luxemburgo</b>	0	2	6	-6	0	-2
<b>P. Bajos</b>	26	16	57	-39	-2	-7
<b>Portugal</b>	16	2	14	2	-2	-1
<b>Suecia</b>	-7	3	16	-16	3	-13
<b>Reino Unido</b>	-30	32	193	-215	3	-44
<b>UE15</b>	<b>112</b>	<b>209</b>	<b>916</b>	<b>-720</b>	<b>-42</b>	<b>-251</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2009a).*

Si las emisiones de CO<sub>2</sub> en España han presentado una evolución divergente a la de la UE es principalmente porque la IE no se ha reducido tanto como en otros países, pues tan sólo es responsable de la reducción de -12 Mton CO<sub>2</sub> frente a las -215 Mton del Reino Unido o las -304 Mton de Alemania. Por ello es importante analizar la evolución de la IE. Como se ha comentado antes, la IE está también afectada por la sustitución de combustibles menos eficientes (carbón) por otros más eficientes (gas), que se ha producido en estos dos países y que también influye en las emisiones vía efecto sustitución.

El efecto población sólo es significativo en los países donde la presencia de inmigrantes es importante, como es el caso de Alemania (10 millones), Francia (6,5 millones), Reino Unido (5,4 millones) y España (4,8 millones).<sup>41</sup>

Otro aspecto significativo, cuando se compara a los demás países europeos con España, es la ausencia de descarbonización del abastecimiento energético. Esto se debe principalmente a que en el año 1990 la mezcla de tecnologías de generación de electricidad era especialmente baja en carbono, por la entrada en funcionamiento de las nuevas centrales nucleares a lo largo de la década de los 80 y por el alto porcentaje de producción hidroeléctrica. En ese año en su conjunto el 52% de la generación no producía emisiones. El fuerte crecimiento de la demanda de electricidad (se ha

<sup>41</sup> En el año 2005, según la publicación del Banco Mundial World Development Indicators.

doblado entre 1990 y 2007) ha requerido la construcción de centrales de carbón y a partir de 1996 de ciclos combinados, lo cual incrementa el porcentaje de combustibles fósiles sobre el abastecimiento total. Las energías renovables han empezado a mitigar esta tendencia a partir del año 2003.

Para que la evaluación de los esfuerzos realizados por los países sea justa y equitativa se deben analizar las emisiones per cápita de los países y su evolución. Para ello, se puede adaptar la ecuación (2) y analizar cuáles son los factores que afectan a las emisiones per cápita de la siguiente forma:

$$\frac{EmisionesCO2}{Población} = \frac{PIB}{Población} \times \frac{TPES}{PIB} \times \frac{Fósiles}{TPES} \times \frac{EmisionesCO2}{Fósiles} \quad (3)$$

A partir de esta ecuación se puede descomponer, de la misma forma descrita anteriormente, la variación de las emisiones per cápita con los mismos efectos, excepto el efecto población. El gráfico 5.2 muestra la evolución de las emisiones per cápita entre 1960 y 2007 (esto es 1960-1961, 1961-1962, ..., 2006-2007) en España y en la UE15 y cómo se desagrega su crecimiento en los cuatro factores y se transforman en índice con 1960 como base 100. El incremento de las emisiones per cápita es la suma de los efectos de renta per cápita, IE, coeficiente de emisiones y sustitución.

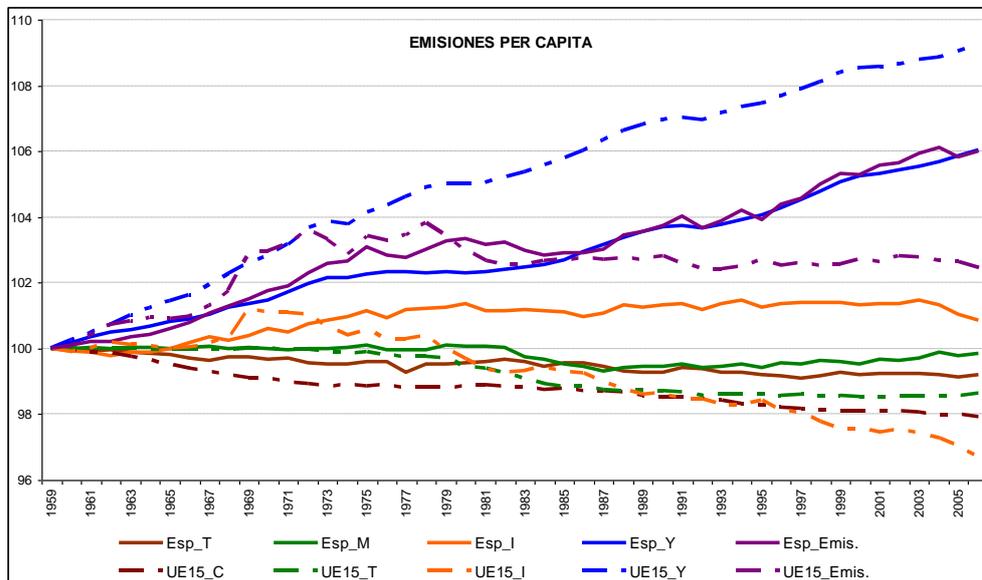
En el caso español, se hace más evidente la fuerte relación entre el crecimiento de las emisiones per cápita y la renta per cápita sin que ningún otro efecto haya mitigado esa tendencia. En la UE15 la reducción de la IE provoca el desacoplamiento de las emisiones per cápita y la renta per cápita y esto constituye la principal diferencia con la evolución española. Además la renta per cápita crece más en Europa que en España.

Otro aspecto destacable es que la descarbonización del abastecimiento energético es mayor en Europa que en España por la reducción relativa del consumo de energía fósil y por la reducción del contenido de carbono de los combustibles utilizados. La suma de estos dos efectos en Europa es similar al de la IE. Por ello se puede concluir que la UE15 ha hecho un esfuerzo similar en la mejora de la eficiencia energética y la descarbonización de las economías. En el caso español tan solo se ha conseguido alcanzar cierta descarbonización del abastecimiento energético, que ha sido insuficiente para compensar el incremento de la IE.

Como se ha visto anteriormente, a pesar del incremento de las emisiones per cápita en España, éstas se encuentran en 2007 por debajo de la media de la UE15. En el gráfico 5.3 se muestra cómo ha evolucionado la distancia entre las emisiones per cápita de la UE15 y España. Al igual que se mostró en el capítulo 3, esta distancia se desagrega aplicando la metodología LMDI I, de manera que se distingan claramente los efectos clave y la magnitud de la diferencia. La formulación es la misma que la realizada en el ejercicio anterior, pero en vez de calcular la diferencia en un país entre dos periodos

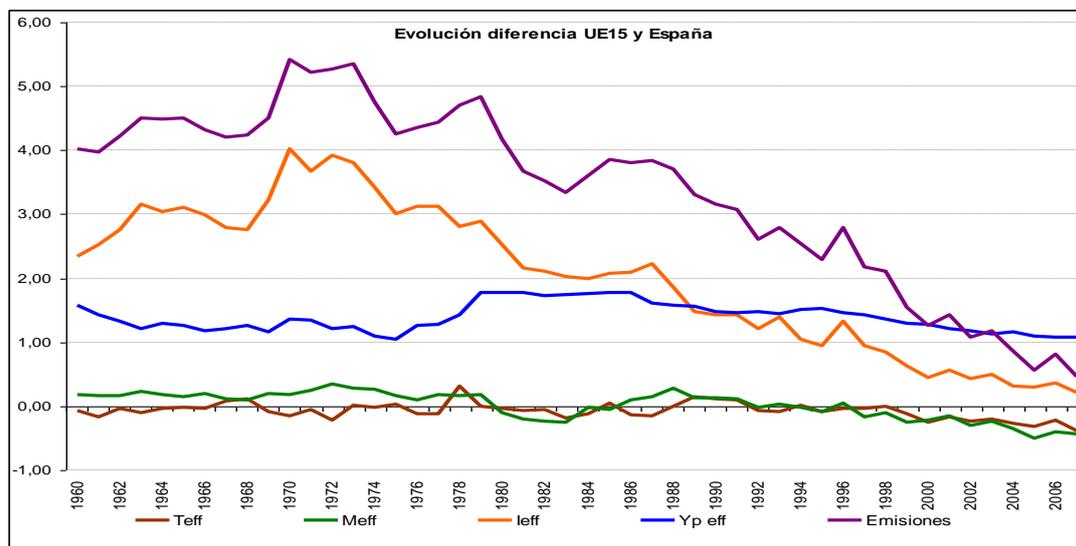
temporales se calcula la diferencia entre España y la UE15 en cada año. La diferencia total de emisiones es igual a la suma de las diferencias en los cuatro efectos.

**Gráfico 5.2. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita para España (1960=100).**



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2009a)

**Gráfico 5.3. Desagregación de la diferencia entre España y la UE15 en las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita**



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (2009a)

En este gráfico resalta la enorme influencia de la IE en la convergencia hacia niveles europeos de emisiones per cápita. En 2007 la IE en España es similar a la de la UE15, pero lo que no está claro es si la IE en España se estabilizará en ese nivel o seguirá

creciendo. Una conclusión importante de este análisis es que España no es el país que peor comportamiento ha tenido de la UE15, puesto que se sitúa en el año 2007 en el mismo nivel de emisiones per cápita y de IE (medidas con el PIB ajustado a la paridad de poder de compra). Si las emisiones presentan unos crecimientos tan desfavorables es porque no se le asignó un objetivo acorde a su potencial de crecimiento económico. Dicho esto, los sucesivos Gobiernos no se han tomado en serio los objetivos asumidos en el protocolo de Kioto y los esfuerzos en mejorar la eficiencia energética han sido inexistentes, como se ha visto en el capítulo 3.

### 5.3. Utilización de la intensidad energética para evaluar la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>

En los apartados anteriores se ha puesto de manifiesto la importancia de la IE como principal impulsor de la evolución de las emisiones de los países. No obstante el índice de carbonización del abastecimiento energético es clave para la evolución de las mismas, aunque no se hayan alcanzado progresos importantes en los últimos años. En este apartado se analizan estos dos factores con una desagregación de las emisiones por sectores productivos. La mayor parte de los estudios realizados para el caso español se limitan a analizar la evolución del agregado total (Alcántara y Padilla, 2009) o del sector industrial (Alcántara, 2008) por lo que el ejercicio que aquí se presenta es útil para profundizar un poco más en los sectores clave a los que habrá que destinar medidas concretas de reducción de emisiones en España.

Los resultados mostrados aquí no son comparables con los del apartado anterior, porque se están utilizando las mismas definiciones que en el capítulo 3. Las principales diferencias se encuentran en que el VAB se presenta en euros constantes de 1995, mientras que en el apartado anterior el PIB total se mostraba en dólares del año 2000 ajustados a la paridad de poder de compra. Además, aquí no se incluyen los consumos no energéticos y sus emisiones asociadas. Se centra el análisis en el período 1990–2006 para el que existen datos de VAB desagregados.

Se amplía la metodología del apartado anterior para incluir la desagregación sectorial de la siguiente forma.

$$C^T = \sum_i \frac{C_i^T}{E_i^T} \times \frac{E_i^T}{Y_i^T} \times \frac{Y_i^T}{Y^T} \times Y^T$$

Siendo  $i$  los sectores económicos para los que se dispone de información desagregada. Entre ellos se incluye el sector residencial (hogares y transporte privado) al que se asigna todo el PIB total para calcular la IE tal y como se ha hecho en el capítulo 3.

$C^T$  = Emisiones de CO<sub>2</sub> en el momento temporal  $t$ .

$C_i^T$  = Emisiones de CO<sub>2</sub> del sector  $i$  en el momento temporal  $t$ .

$Y_i^T$  = VAB del sector  $i$  en el momento temporal  $t$ .

$E_i^T$  = consumo energético del sector  $i$  en el momento temporal  $t$ .

La expresión anterior se puede reescribir siguiendo el método multiplicativo como:

$$C^T = \sum_i C_i^T = \sum_i I_i^T \times T_i^T \times S_i^T \times Y^T$$

donde:

$I_i^T$  = IE del sector  $i$  en el momento temporal  $t$  ( $=E_i^T/Y_i^T$ ), que representa el efecto IE.

$T_i^T$  = coeficiente de emisiones de CO<sub>2</sub> por energía consumida en el sector  $i$  en el momento temporal  $t$  ( $=C_i^T/E_i^T$ ), que representa el efecto coeficiente de emisión.

$S_i^T$  = participación del VAB del sector  $i$  en el PIB total en el momento temporal  $t$  ( $=Y_i^T/Y^T$ ), que representa el efecto estructura.

$Y^T$  = es el PIB total, que representa el efecto actividad.

La variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> se puede desagregar en estos cuatro efectos siguiendo la metodología LMDI I, que en la forma multiplicativa conduce a:

$$\frac{C^T}{C^0} = \exp\left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{I_i^T}{I_i^0}\right) \times \exp\left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{T_i^T}{T_i^0}\right) \times \exp\left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{S_i^T}{S_i^0}\right) \times \exp\left(\sum_i w_i^{T*} \ln \frac{Y^T}{Y^0}\right)$$

en la que:

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

Este factor de ponderación tiene la ventaja de dar una descomposición perfecta y consistente en agregación, tal y como se ha explicado en el capítulo 3.

En la tabla 5.4 se muestran los resultados de la desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España entre 1990 y 2006 para los sectores para los que existe información disponible. Para facilitar la comprensión se convierten los resultados al método aditivo, de manera que el crecimiento de las emisiones en España es la suma de las emisiones totales de cada sector (efecto conjunto) que a su vez es la suma de las emisiones por los efectos estructura, IE intrasectorial, coeficiente de emisión y actividad.

**Tabla 5.4. Desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para España entre 1990-2006 (Mton CO<sub>2</sub>).**

	Efecto Estructura	Efecto Intrasectorial	Efecto Coeficiente	Efecto Actividad	Efecto conjunto	%
Energía	9	-18	18	42	51	42%
<b>AGRICULTURA</b>	-2	3	0	2	3	2%
<b>INDUSTRIA</b>	-1	3	-15	18	4	4%
Metales básicos	0	-1	-6	4	-3	-2%
Química	0	1	-2	3	2	2%
Prod no metálicos	1	0	-4	6	4	3%
Mat Tpte	0	0	0	1	0	0%
Minería	0	0	0	0	0	0%
Alimentación	-1	1	-2	1	-1	-1%
Papel	0	1	-2	1	0	0%
Madera	0	0	0	0	0	0%
Construcción	0	0	0	0	0	0%
Textil	-1	0	0	0	0	0%
Otros	0	0	1	0	1	1%
<b>TRANSPORTE</b>	2	10	-1	23	34	28%
<b>TERCIARIO</b>	0	3	1	3	7	6%
Hogares		1	0	7	8	6%
Tpte residencial		4	-1	12	16	13%
<b>TOTAL</b>	<b>7,6</b>	<b>4,8</b>	<b>3,0</b>	<b>106,6</b>	<b>122,1</b>	

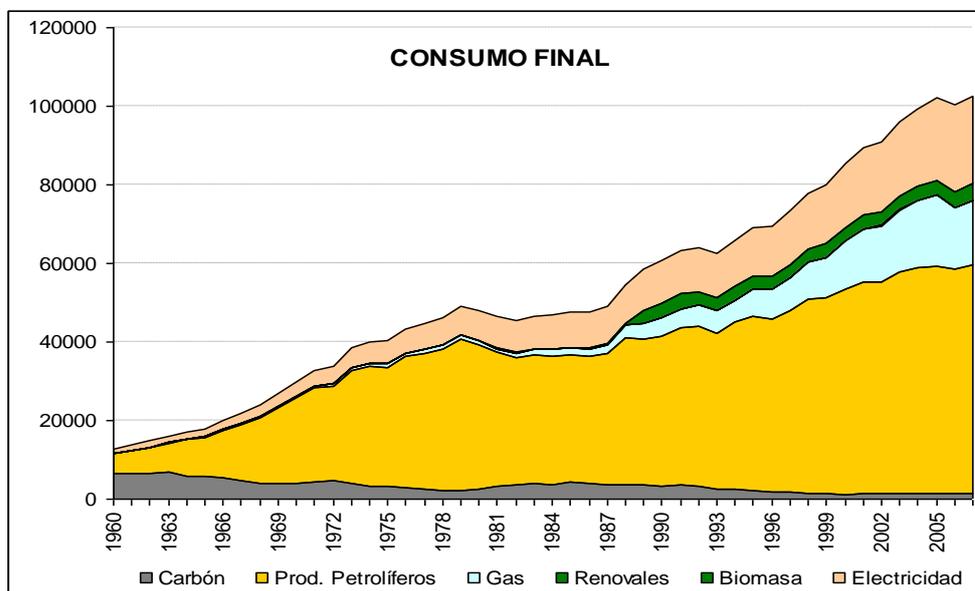
*Fuente: Elaboración propia.*

El incremento de emisiones se debe sobre todo al aumento del PIB, esto es, el efecto actividad. Este crecimiento sólo ha sido compensado en la industria con un cambio hacia combustibles menos contaminantes (efecto coeficiente). En ese caso el incremento de 18 Mton CO<sub>2</sub> del efecto actividad se ve compensado por el descenso de 15 Mton del efecto coeficiente. Esto se debe sobre todo a la sustitución de combustibles primarios por electricidad en el sector de metales básicos (por lo que las emisiones se imputan en el sector eléctrico) y a partir de 1996 por la penetración del gas en numerosos procesos industriales (con un coeficiente de emisión de 2,253 Mton/tep), en sustitución de productos petrolíferos (2,720 Mton/tep) o carbón (3,900 Mton/tep).

En general, los datos de consumos energéticos muestran una tendencia hacia la electrificación de los consumos finales (hogares, industria y transporte) como se

muestra en el gráfico 5.4, lo cual beneficia la evolución de los sectores y traslada las emisiones al sector eléctrico.

**Gráfico 5.4. Consumo final de energía en España (ktep)**



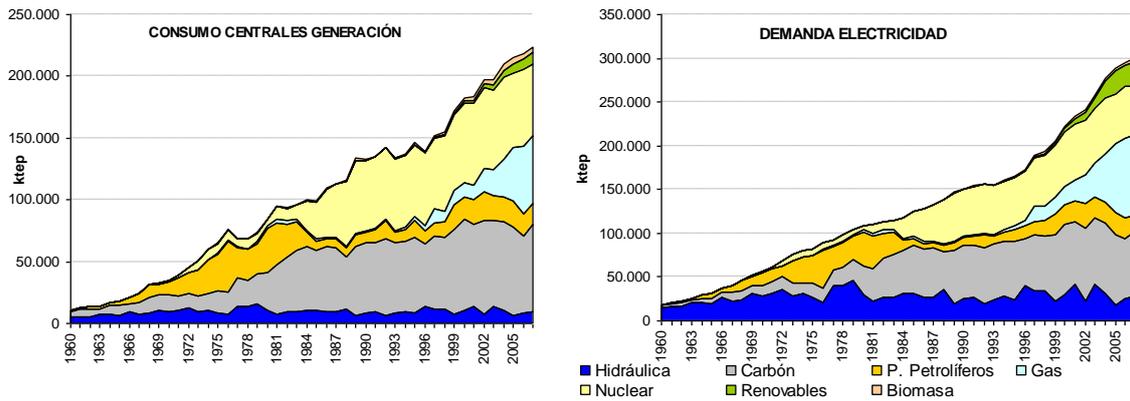
*Fuente: Elaboración propia.*

Como consecuencia aumenta la demanda de electricidad de forma importante, lo que repercute en un incremento de las emisiones del sector de energía, para el que existen diversas alternativas energéticas de bajas o nulas emisiones. Buena parte del consumo energético primario se utiliza para la generación de electricidad (un 22% del total). Este sector aumenta su peso estructural en la economía española y es el que presenta una mayor influencia del efecto actividad (42Mton de las 106 Mton totales).

A diferencia de lo que sucedía en el capítulo 3, donde el sector energético mostraba una evolución favorable en su IE y en su repercusión sobre la IE total, en el caso de las emisiones, este sector es el principal impulsor y es responsable del 42% del incremento de las mismas, por delante del sector del transporte. Por ello es importante analizar los resultados de repercutir esas emisiones a los sectores que las demandan. La gestión de la demanda de electricidad es fundamental para la contención de las emisiones, pero solamente será el sector eléctrico el que podrá descarbonizar su abastecimiento.

En este sentido, el sector de energía no consigue descarbonizarse, sino más bien al contrario. Esto se debe a que partía de unos niveles muy bajos de emisión del sector eléctrico, tal y como se ha comentado anteriormente y se visualiza en el Gráfico 5.5 donde se muestra por fuente energética el consumo energético de las centrales de generación de electricidad y la demanda de electricidad abastecida por esas fuentes.

**Gráfico 5.5. Consumo de energía para la generación de electricidad.**

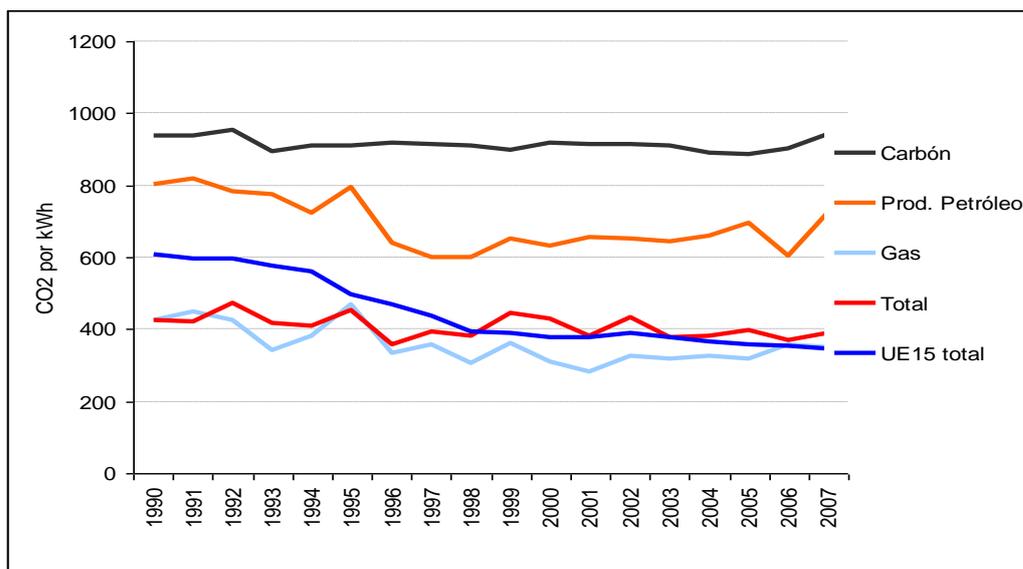


*Fuente: Elaboración propia.*

La mejora de eficiencia en las centrales de generación y la reducción del contenido de carbono de los combustibles ha sido limitada en España, frente a los fuertes descensos en la UE15. No obstante en el año 2007 las emisiones medias por Kwh. eran similares en España y en la UE15 (gráfico 5.6).

El transporte es el segundo sector responsable de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se suma el transporte de mercancías y el de viajeros el conjunto de las emisiones de ambos sectores prácticamente iguala a las del sector energético. Pero así como este último está sometido a un mercado de emisiones y a un Plan Nacional o Europeo de Asignación, que ejerce un control sobre las emisiones futuras, el transporte es un sector difuso y no controlado por ningún mecanismo de mercado.

**Gráfico 5.6. Emisiones medias por combustible en la producción de electricidad.**



*Fuente: Elaboración propia.*

Los datos mostrados en la tabla 5.4 apuntan a que el incremento de la actividad, esto es el crecimiento del PIB, es el principal impulsor de las emisiones, seguido de un empeoramiento de la IE, que puede deberse a multitud de factores, como el incremento de los desplazamientos cotidianos a distancias cortas, la fragmentación del sector que impide la optimización de los desplazamientos, unos precios de los carburantes relativamente inferiores a los de los países colindantes, un tránsito de vehículos extranjeros muy importante que no genera VAB en el país, etc.

Al igual que se mostraba en el capítulo 3, la suma del consumo de los hogares y del transporte privado muestra un peso importante (19%) en la evolución de las emisiones totales. Las familias en su consumo en los hogares y en sus desplazamientos se constituyen como el grupo que más energía consume en el país (34% del total). En el caso del transporte privado el incremento de la movilidad y la preferencia por utilizar el vehículo particular para sus desplazamientos ha impulsado las emisiones totales. En el capítulo 8 se explorarán los principales factores que impulsan el transporte de viajeros.

La comparación con Europa permite relativizar algunos de los resultados anteriores. Tan sólo se dispone de información estadística para el período 1995-2006, que por otro lado es el período en el que las emisiones han crecido más. La desagregación del crecimiento de las emisiones por España y para la UE15 se muestra en la tabla 5.5.

**Tabla 5.5. Desagregación del crecimiento de las emisiones entre 1995 y 2006 (Mton CO<sub>2</sub>).**

	ESPAÑA						UE15					
	S	I	T	Y	TOTAL	%	S	I	T	Y	TOTAL	%
Energía	3	-13	13	36	40	41%	-210	-20	58	303	130	69%
AGRICULTURA	-2	1	0	2	1	1%	-8	-7	-4	13	-6	-3%
INDUSTRIA	0	3	-16	15	3	3%	-33	-51	-77	112	-49	-26%
Metales básicos	0	0	-5	3	-2	-2%	-7	-24	-23	29	-24	-13%
Química	0	1	-2	3	1	1%	5	-25	-13	19	-14	-7%
Prod no metálicos	2	1	-3	5	5	5%	-9	-5	-3	22	4	2%
Mat Tpte	0	0	-1	1	1	1%	4	-10	-4	8	-3	-1%
Minería	0	0	0	0	0	0%	-1	0	-1	1	-2	-1%
Alimentación	-1	1	-3	1	-2	-2%	-7	-1	-9	10	-6	-3%
Papel	0	0	-2	1	0	0%	-5	1	-8	7	-4	-2%
Madera	0	0	0	0	0	0%	0	0	0	0	0	0%
Construcción	0	0	0	0	0	1%	-1	0	-1	3	0	0%
Textil	-1	0	-1	0	-1	-1%	-6	1	-1	3	-4	-2%
Otros	0	-1	0	0	0	0%	-6	13	-12	9	2	1%
<b>TRANSPORTE</b>	<b>-4</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>30%</b>	<b>165</b>	<b>-223</b>	<b>-29</b>	<b>197</b>	<b>108</b>	<b>57%</b>
<b>TERCIARIO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6%</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-52</b>	<b>42</b>	<b>-4</b>	<b>-2%</b>
Hogares	0	1	0	6	7	7%	0	-70	-22	102	11	6%
Tpte residencial	0	2	0	10	12	13%	0	0	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>-3</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>91</b>	<b>96</b>		<b>-85</b>	<b>-367</b>	<b>-126</b>	<b>769</b>	<b>190</b>	

Nota: S: Efecto estructura; I: efecto IE intrasectorial; T: efecto coeficiente; Y: efecto actividad. Solo se dispone de cifras para el transporte privado en España.

Fuente: Elaboración propia.

La principal diferencia, al igual que se concluía en el capítulo 3, es el comportamiento de la industria. El menor peso de las ramas industriales en la UE15, la mejora de su IE y la descarbonización de su consumo energético han logrado compensar ampliamente el incremento de emisiones por el efecto actividad. Esto ha sucedido principalmente en los metales básicos y la industria química.

Las principales similitudes en la evolución son la fuerte influencia de las emisiones del sector energía y del transporte. Las principales diferencias son que la mejora de la IE en la UE15 permite compensar parcialmente el incremento de las emisiones por el efecto actividad. Resulta interesante analizar qué sectores están impulsando en España la demanda de electricidad y transporte y repercutirles las emisiones indirectas asociadas a esos consumos siguiendo la metodología del capítulo 4. En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de dicha asignación partiendo de los resultados obtenidos en el capítulo 4 a los que se le asigna las emisiones derivadas de su consumo energético. Entre 1995 y 2006 las emisiones crecieron en 96 Mton CO<sub>2</sub>, esto es un 42% más, siendo los minerales no metálicos los principales responsables del crecimiento por el fuerte efecto arrastre que produce en el transporte de mercancías.

Como consecuencia del fuerte crecimiento del sector terciario y la importante presencia de la actividad turística, sus emisiones han crecido sustancialmente (un 60%), sobre todo por la demanda de electricidad. Como el sector no puede actuar en la descarbonización de su abastecimiento, deberá concentrarse en acciones de gestión de la demanda y optimización de sus consumos de calefacción y climatización.

Finalmente, el sector residencial muestra una tendencia creciente descontrolada. Las emisiones en los hogares han crecido un 46% y las del transporte privado un 52%. Al ser un sector difuso no está sometido a ninguna restricción, por lo que se deben adoptar medidas diferentes que consigan mitigar esa tendencia, como se expondrá en los capítulos 7 y 8.

**Tabla 5.6. Estimación de las emisiones directas e indirectas en España (Mton CO<sub>2</sub>).**

	1995				2006				Var %			
	TFC	Tpte	Electr.	Total	TFC	Tpte	Electr.	Total	TFC	Tpte	Electr.	Total
Agricultura	5	10	4	19	7	12	5	23	24%	20%	10%	19%
Met. Básicos	10	4	10	24	8	6	14	28	-19%	39%	37%	15%
Química	11	4	8	23	11	5	11	27	2%	24%	29%	16%
MnM	12	7	6	26	18	17	10	45	47%	129%	70%	76%
Alimentación	4	9	5	18	3	13	7	23	-36%	42%	45%	24%
Otros	6	11	10	27	6	22	15	42	1%	91%	48%	56%
Terciario	5		19	25	11		29	39	105%		48%	60%
Tpte Privado	0	25	5	30	0	37	8	46		49%	67%	52%
Residencial	14		21	34	20		30	50	49%		45%	46%
<b>TOTAL</b>	<b>67</b>	<b>71</b>	<b>89</b>	<b>227</b>	<b>83</b>	<b>112</b>	<b>128</b>	<b>323</b>	<b>24%</b>	<b>57%</b>	<b>45%</b>	<b>42%</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.4. Simulaciones a 2020 de diferentes escenarios

Tras este diagnóstico de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> resulta evidente que las posibilidades para que España cumpla con los compromisos de Kioto son muy remotas.

España es uno de los países que más compras de derechos de emisión de CO<sub>2</sub> debe hacer para cumplir con el Protocolo de Kioto. España ha invertido a través de mecanismos de desarrollo limpio (MDL) en proyectos de energías renovables en países en desarrollo unos 60 Mton CO<sub>2</sub> con una inversión que ronda los 370 millones. Debido a la lentitud de la aprobación de los MDLs España deberá recurrir a la segunda opción, que es la compra de derechos de emisión de los países del Este de Europa, que cuentan con excedentes logrados con el cierre de las fábricas comunistas ineficientes tras la caída del muro de Berlín (denominado *hot air*). El Ministerio de Medio Ambiente ha cerrado la compra de 6 Mton de CO<sub>2</sub> en Hungría y ha invertido 25 M€ en Polonia y negocia con Ucrania, la República Checa, Letonia, Lituania y Estonia. El Gobierno afirma que necesita 159 Mton y si se cumplen sus previsiones el coste total sería de 1.240 M€. Estas compras cubrirán el exceso de los sectores no incluidos en la Directiva de comercio de emisiones, puesto que la industria tendrá que comprar si supera lo asignado. La previsión oficial es que las empresas tengan que adquirir 130 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, esto es casi tanto como el Gobierno (El País, 1/9/09 y EUROPA PRESS, 9/9/09).

Las preguntas que se hacen muchos analistas e investigadores son ¿podrá España cumplir con los compromisos asumidos en el seno de la Unión Europea para 2020? ¿Qué cambios y tendencias se pueden esperar en la evolución sectorial? ¿Qué papel podrán jugar las estrategias de eficiencia energética y energías renovables?

A partir de los ratios de IE, estructura productiva e índice de carbonización de la economía española se pueden realizar simulaciones del tipo de qué pasaría si se modificase un parámetro y se mantuviera el resto constante.

A continuación se muestran simulaciones bajo distintas hipótesis. Estas simulaciones no contemplan los efectos indirectos que se producen como consecuencia de las hipótesis planteadas, que necesitarían de un modelo más completo que incluyese todas las interacciones de los mercados energéticos y de las relaciones entre las distintas ramas de la economía. Tampoco se analiza cómo se podrían realizar esos cambios a través de instrumentos regulatorios, ni el coste que dichos cambios tendrían para el consumidor energético.

El escenario de referencia (BAU en sus siglas en inglés) mantiene constantes la estructura productiva, las IE sectoriales y el abastecimiento energético y considera el crecimiento del PIB estimado por el Banco de España del 21% entre 2007 y 2020. En

este escenario BAU las emisiones serían en 2020 un 14% superiores a las de 2005 y alcanzarían las 389 Mton CO<sub>2</sub>.

### **A. COMPROMISOS EUROPEOS**

El Consejo Europeo aprobó en marzo de 2007 el compromiso de reducción de las emisiones en 2020 del 20% frente a los niveles de 2005, una mejora de la eficiencia energética del 20% y una participación de las energías renovables en el 20% del suministro energético. Un año más tarde se planteó un objetivo de reducción de las emisiones en los sectores incluidos en la Directiva de comercio de emisiones del 21% y unos objetivos por país de reducción o crecimiento de las emisiones difusas.

Si se aplica esta reducción del 21%<sup>42</sup> a las emisiones de los sectores energéticos, metales básicos, química, minerales no metálicos y papel<sup>43</sup> y se mantiene el resto de sectores en el escenario BAU, las emisiones sólo aumentarían un 3%. El objetivo asignado a España para las emisiones difusas es de reducción de -10%, por lo que se deben emprender acciones adicionales para cumplir. Con las estimaciones de PIB utilizadas el objetivo asignado a España es de una reducción total de las emisiones del -15% sobre 2005 en vez del -20% planeado para el conjunto de países. El problema es que, como se ha visto, estos sectores difusos han crecido un 78% entre 1990 y 2006, con un crecimiento medio anual del 3,7%, y no parece que las medidas tomadas a cabo por el Gobierno para frenar esa tendencia hayan tenido el efecto deseado. Si se aplica ese crecimiento medio de las emisiones difusas y se supone que los sectores incluidos en el comercio de emisiones reducen sus emisiones en un -21%, las emisiones de CO<sub>2</sub> se situarían un 24% por encima de las de 2005.

### **B. NIVEL DE INTENSIDAD ENERGÉTICA EUROPEO**

Se podría esperar que las IE de los sectores en España tendiesen hacia niveles europeos. Es difícil estimar cuales serán esos niveles en 2020, pero si se aplica las IE sectoriales de la UE15 al escenario de referencia, y se mantiene constante el índice de carbonización, las emisiones se mantendrían a niveles de 2005 y si además se aplicase el mismo índice de carbonización de la UE15 en 2006 las emisiones se reducirían un 8%.

El problema es que los países se especializan en ciertas ramas económicas que pueden ser más o menos intensivas en energía y que existen ciertos factores estructurales (clima, geografía, localización) que hacen difícil la convergencia de todos los consumos energéticos sectoriales hacia niveles europeos.

---

<sup>42</sup> La Comisión Europea debe evaluar el reparto de estos objetivos por sectores y países, por lo que probablemente a España no se le aplicará este objetivo lineal.

<sup>43</sup> Las emisiones de estos sectores incluyen instalaciones de tamaño reducido que no están incluidas en la Directiva pero que tampoco contribuyen de forma significativa a las emisiones de cada sector.

### **C. MODERACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN**

A la vista de la evolución reciente de la economía española lo más probable es que la construcción se modere y converja a niveles europeos. Es lógico pensar que se seguirán construyendo infraestructuras y viviendas una vez que se ajuste la oferta y la demanda, pero a un ritmo inferior al del período analizado.

Por ello se podría adoptar la hipótesis de que la construcción y las actividades asociadas (minerales no metálicos y metales básicos) se igualasen en 2020 a los niveles europeos actuales. El PIB mantendría el crecimiento estimado en el escenario BAU y la menor aportación de este sector se supliría en el sector terciario. Con esta hipótesis y manteniendo el resto de los elementos constantes, las emisiones de CO<sub>2</sub> se situarían un 7% por encima de las de 2005, con una reducción de las emisiones respecto al escenario BAU de 24 Mton CO<sub>2</sub>.

En este escenario no se calculan los impactos indirectos de la reducción de la actividad constructora en el transporte que, como se ha visto en el capítulo 4, ejerce un importante efecto arrastre (23% del transporte de mercancías).

### **D. MAYOR PENETRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

Una de las medidas clave para alcanzar el objetivo europeo es el incremento de la participación de las energías renovables en el abastecimiento energético del país, principalmente en el sector eléctrico y en los biocarburantes, como se verá más tarde. Sin entrar en las consideraciones técnicas necesarias para incrementar la capacidad de producción renovable, ni el coste que el apoyo a este tipo de energías requiere, se simula un escenario en el que las renovables capturen todo el crecimiento de la demanda entre 2006 y 2020.

A partir del escenario BAU se modifican tan sólo los insumos energéticos y sus emisiones asociadas en la generación de electricidad. Absorber todo el crecimiento de la demanda significa que la generación renovable pase de los 2.042 ktep de 2006 (23.745 GWh) a los 6.695 ktep en 2020 (77.865 GWh), en un escenario en el que la demanda de electricidad crece un 22%<sup>44</sup>. Este escenario implica que en 2020 habrá en torno a 36.000 MW renovables instalados con 2.150 horas de funcionamiento medio al año. Este esfuerzo inversor supondría una reducción de las emisiones de 12 Mton CO<sub>2</sub> respecto al escenario BAU, situándose las emisiones totales un 10,7% por encima de 2005.

---

<sup>44</sup> Este es el crecimiento de la demanda de electricidad en el escenario BAU. No obstante lo más probable es que las medidas de gestión de la demanda y el aumento de precios de la electricidad moderen la demanda de electricidad. Pero, por otro lado, las tendencias indican que se producirá una electrificación de los consumos energéticos, lo que dificulta plantear un escenario de reducción de la demanda de electricidad.

Si la penetración de las renovables fuese incluso más agresiva, esto es, las renovables sustituyesen al fuel completamente y un 20% de la generación con carbón, las emisiones se reducirían en 27 Mton CO<sub>2</sub> respecto al BAU y las emisiones totales se situarían un 6,5% por encima de 2005. Este escenario implica que la capacidad instalada de energías renovables ascienda a cerca de 54.000 MW.

Esta opción tendría un alto coste para la sociedad, de mantenerse los actuales incentivos a la generación renovable, pero una regulación adecuada, con una reducción progresiva de los incentivos y potenciando las tecnologías más competitivas, podría incentivar una reducción de costes por economías de escala y las innovaciones tecnológicas que se produzcan y mantener los extra costes en un rango aceptable.

### **E. MÁS GAS Y MÁS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

Quizás el escenario más probable, dadas las inversiones realizadas en centrales de ciclo combinado, es que el gas sustituya por completo al fuel y al carbón en cierta medida. Si se combina el primer escenario de renovables, esto es, que toda la demanda de electricidad sea abastecida con energías renovables, y se sustituye toda la generación de 2006 de fuel y un 35% de la generación de carbón con gas, en 2020 las emisiones se reducirían en 25 Mton CO<sub>2</sub> respecto al BAU, esto es un 7% por encima de las emisiones de 2005. En este escenario las emisiones del sector eléctrico se reducirían en un 21% respecto a 2005.

En todos estos escenarios se supone que la generación nuclear se mantiene a niveles actuales y se asigna una producción hidroeléctrica de un año hidráulico medio.

### **F. DESCARBONIZACIÓN DEL TRANSPORTE**

La evolución del transporte y las proyecciones de los analistas no apuntan a que la demanda de movilidad se vaya a reducir en el futuro, sino que seguirá aumentando. Los individuos dedican una parte fija de su presupuesto y de su tiempo a desplazarse, si se mejoran las infraestructuras los viajeros se alejarán más, si aumenta la renta se desplazarán más, y esto se producirá principalmente en la carretera pero también en el transporte aéreo. El transporte por carretera es el área en el que se deben realizar más medidas, puesto que constituye el 80% del transporte total. Por ello, la Unión Europea y el Gobierno español están planteando objetivos de una mayor penetración de biocombustibles y el apoyo a la fabricación de coches eléctricos para reducir la dependencia energética en el petróleo y sus emisiones.

La UE ha aprobado un objetivo de que los biocombustibles absorban el 10% del transporte por carretera en 2020, que el Gobierno español ha hecho propio. En el caso español esto significa una reducción del índice de carbonización del transporte en 2020 (se supone que las emisiones de la combustión de los biocombustibles han sido

absorbidas por las plantas originarias de los mismos). Si se alcanzase dicho objetivo las emisiones se reducirían en 11 Mton CO<sub>2</sub> respecto al escenario BAU y se situarían un 11% por encima del año 2005.

Por lo que se refiere a la penetración del coche eléctrico, los cálculos resultan más complejos, porque interactúan con la generación de electricidad.

El Gobierno español ha lanzado el Plan Movele (MITYC, 2009a) que prevé la venta de 2.000 coches eléctricos en 2010 y ha planteado un objetivo muy ambicioso de alcanzar un millón de estos vehículos en 2014. Dicha cifra parece poco realista, por ejemplo si se la compara con el objetivo del Gobierno alemán de que los vehículos eléctricos alcancen el millón en 2020. Así que se simula un escenario en el que en 2020 habrá 1 millón de coches eléctricos en circulación.

Para ello se supone que estos vehículos eléctricos consumirían 0,15 Kwh./Km.<sup>45</sup> y sustituirán a vehículos de gasolina que tienen una eficiencia media similar a la de 2006.<sup>46</sup> La distancia media recorrida al año por estos vehículos se estima en 15.100 Km.<sup>47</sup> En su totalidad los vehículos eléctricos ahorran 849 ktep de gasolina en 2020 pero demandan 2.260 GWh a la red eléctrica. El ahorro neto, considerando la eficiencia actual del parque de generación será de 439 tep. No obstante, si se considera el mix de generación de electricidad del escenario de más energías renovables y más generación con gas, el ahorro neto se incrementa hasta las 477 ktep y las emisiones descienden respecto al escenario BAU en 1,8 Mton CO<sub>2</sub>, manteniéndose un 13,8% por encima de 2005. La conclusión de este análisis es que los vehículos eléctricos reducen a la mitad el consumo energético del transporte en vehículo particular, pero que la movilidad seguirá aumentando tanto en distancias como en viajeros, por lo que si se quiere realmente tener un mayor impacto se deberán emprender medidas adicionales. Además un millón de vehículos es una pequeña fracción del parque automovilístico, que necesita en torno a 15 años para renovarse por completo.

---

<sup>45</sup> El consumo del vehículo eléctrico depende de numerosos factores que se desconocen a priori, como el tamaño del coche, la distancia recorrida con un precio marginal más bajo, la duración de la carga y funcionamiento de la batería, etc. Esta cifra ha sido utilizada por otros investigadores para analizar el caso español (Laverón et al., 2009).

<sup>46</sup> Los fabricantes de vehículos seguirían mejorando la eficiencia de los vehículos de combustión interna, pero se supone que se sustituirán los vehículos menos eficientes.

<sup>47</sup> Esta es la distancia media recorrida por los vehículos en 2006. Las tendencias indican que se aumentará la distancia recorrida pero estos vehículos se destinarán principalmente para la movilidad cotidiana, por lo que se mantiene la distancia media actual como hipótesis.

## 5.5. Conclusiones

En el momento de escribir este capítulo, noviembre de 2009, la Cumbre del Clima que se celebrará en Copenhague está atrayendo muchísima atención académica, empresarial y mediática. No obstante, la mayor parte de los analistas creen que en Copenhague se conseguirá un acuerdo muy general y que a lo largo de 2010 se negociarán los aspectos más importantes. Más importante que este acuerdo es que los países pongan en marcha medidas que consigan desvincular el crecimiento económico del deterioro ambiental. En esta área queda mucho por hacer.

La Unión Europea está liderando la puesta en marcha de mecanismos para la reducción de emisiones. Desde el año 2005 el mercado de emisiones está operativo y las lecciones aprendidas están siendo utilizadas para el diseño del plan de asignación europeo para el período 2013-2020. No obstante, los Gobiernos están logrando consensuar compromisos políticos, pero sin resultados en materia energética visibles hasta la fecha. Europa difícilmente cumplirá con los objetivos marcados en el protocolo de Kioto.

El caso de España es mucho peor, el Parlamento ratificó por unanimidad el Protocolo de Kioto, pero ninguno de los Gobiernos que se han sucedido desde entonces ha conseguido mitigar el crecimiento exponencial de las emisiones de GEI. Esta fuerte divergencia entre los resultados y los objetivos se debe a una falta de previsión respecto a la evolución del PIB y la población. Los datos muestran que los objetivos para España son en términos per cápita un 27% más exigentes que la media europea.

Los datos muestran también que España no ha conseguido avanzar en la descarbonización del abastecimiento energético. El crecimiento de las energías renovables hasta 2006 no ha tenido un impacto significativo, debido al fuerte incremento de la demanda de electricidad.

Dentro de los factores impulsores del crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el efecto actividad (incremento del PIB) ha sido el más importante desde 1960. La inmigración ha impulsado, por otro lado, el efecto población desde 1999. Mientras tanto la economía española no ha conseguido ser más eficiente energéticamente ni reducir el contenido de carbono de su abastecimiento, a diferencia de la UE en su conjunto, que sí lo ha hecho hasta el punto de mitigar completamente el efecto actividad. No obstante la evolución de las emisiones per cápita muestra que España ha convergido hacia niveles europeos en emisiones per cápita y también lo ha hecho en el nivel de IE, por lo que la cuestión radica en si España seguirá con la misma tendencia de crecimiento o la invertirá.

En este capítulo se ha puesto de manifiesto la importancia de la IE como la principal diferencia en la evolución de las emisiones de los países. No obstante el índice de carbonización del abastecimiento energético es clave para la evolución de las mismas. Por ello se ha analizado el crecimiento de las emisiones por sectores productivos teniendo en cuenta estos dos factores.

Los resultados muestran una tendencia hacia la electrificación de los consumos finales que traslada buena parte de las emisiones al sector eléctrico. En consecuencia la demanda de electricidad se ha duplicado en el período 1990-2006 y el sector ha sido incapaz de descarbonizarse porque partía de unos niveles de emisión muy bajos. Además los precios de los combustibles no han incentivado la sustitución de carbón por gas en España y el mercado de emisiones tampoco ha ayudado.

La industria española, a pesar de presentar un comportamiento más favorable, no lo ha hecho tan bien como la industria en la UE15, que ha reducido sus emisiones por el menor peso de las ramas industriales en la economía, por la mejora de su IE y por la descarbonización de su consumo energético.

El transporte es el segundo sector responsable de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, con el agravante de que no está controlado por ninguna normativa ligada al mercado de emisiones u otro mecanismo. Junto a este sector difuso el sector residencial está adquiriendo un peso muy importante en las emisiones totales.

En este capítulo se ha mostrado una estimación de las emisiones directas e indirectas de los sectores calculadas con la metodología propuesta en el capítulo 4. Las conclusiones son similares a las obtenidas en ese capítulo: los minerales no metálicos son los principales responsables del crecimiento de las emisiones por el fuerte efecto arrastre que producen en el transporte de mercancías; las emisiones del sector terciario han crecido considerablemente, sobre todo por la demanda de electricidad; y el sector residencial muestra una tendencia descontrolada con crecimientos de sus emisiones en los hogares y el transporte privado en el entorno del 50%.

Se han realizado algunas simulaciones para analizar si los objetivos asumidos por España en el marco de la UE son factibles. Los resultados se resumen en la tabla 5.7. La metodología utilizada es muy sencilla y no incluye las interacciones entre sectores económicos y mercados energéticos. Por ello, no se pueden adicionar todas las reducciones, puesto que hay efectos conjuntos no señalados.

**Tabla 5.7. Resumen de resultados de las simulaciones a 2020.**

	<b>Emisiones (Mton CO2)</b>	<b>Var. s/ BAU (Mton CO2)</b>	<b>Var s/ 2005 (%)</b>
<b>2005</b>	<b>340</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>2006</b>	<b>332</b>	<b>-</b>	<b>-2%</b>
<b>BAU 2020</b>	<b>389</b>	<b>49</b>	<b>14%</b>
<b>Compromiso Europeo 2020</b>	<b>273</b>	<b>-116</b>	<b>-15%</b>
Nivel IE de la UE15	340	-48,5	0,1%
Nivel IE y carbonización de la UE15	312	-76,5	-8,2%
Construcción a nivel UE15	364	-24,5	7,2%
Triple de renovables	376	-12,5	10,7%
Renovables (x5)	362	-26,7	6,5%
Renovables (x3) y más gas	364	-24,9	7,0%
Biocombustibles (10%)	378	-11,0	11,1%
Vehículos eléctricos (1 millón)	387	-1,8	13,8%

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados de estas simulaciones muestran que es difícil alcanzar el objetivo planteado en el seno de la UE15 con las estimaciones de crecimiento económico del Banco de España. Estas estimaciones consideran que el PIB descenderá un -3% en 2009, un -1% en 2010 y empezará a crecer en 2011, un 1%, y mantendrá el crecimiento a niveles del 2% hasta 2020. Si el PIB creciese a un ritmo mayor, los objetivos serán probablemente inalcanzables debido a la fuerte vinculación del crecimiento de las emisiones al PIB.

La desmaterialización de la economía española se producirá si se converge hacia niveles europeos de eficiencia, lo que significa un alejamiento de las actividades productivas más intensivas en energía y una especialización en aquellas de mayor valor añadido. La eficiencia energética debe ser la principal prioridad seguida de una descarbonización del abastecimiento energético.

Parece probable que la moderación de la actividad de construcción reduzca de forma importante el consumo energético directo e indirecto (transporte sobre todo, pero también electricidad). Por lo que la propia coyuntura económica reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> sin esfuerzos especiales en mejorar la eficiencia energética.

El principal reto se encuentra en la reducción de las emisiones del transporte, por la dificultad de vencer su tendencia creciente y de descarbonizar la energía consumida. Dentro de las alternativas planteadas la mayor penetración de los biocombustibles es la que tiene mayor potencial de reducción.

Por otro lado, el reparto de responsabilidades de reducción entre los sectores incluidos en la próxima asignación de derechos de emisión a nivel europeo obligará a los sectores más intensivos en energía a reducir sus emisiones, por lo que los Gobiernos

deberían concentrar sus esfuerzos en aquellos sectores no incluidos en este régimen, en especial el sector residencial y el transporte. Dada la idiosincrasia de estos dos sectores, las emisiones han crecido de forma imparable y se necesitan una serie de políticas y medidas más exigentes para la contención de ese crecimiento. En definitiva, que España cumpla con los objetivos europeos dependerá de la medida en que tenga controlados a estos dos sectores. Por esa razón se dedican los dos últimos capítulos de esta tesis doctoral al análisis de estos sectores.

El potencial de sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía alternativas es aún enorme, además de que es inevitable, por la escasez de reservas, que esta sustitución se produzca en algún momento del futuro.

Los mercados de emisiones o la imposición energética ambiental podrían facilitar el cambio de combustibles, así como también reducir el uso de energía debido a su mayor precio relativo, teniendo mayor o menor impacto en función de las alternativas disponibles. Finalmente, la demanda de un abastecimiento energético sostenible está fomentando la investigación en nuevas tecnologías y está incentivando la innovación continua de productos y procesos.

El mayor problema para reducir el contenido en carbono del abastecimiento energético es que los combustibles más baratos, carbón o petróleo, son los más contaminantes, y las alternativas tecnológicas para reducir sus emisiones (captura y secuestro de carbono), si fuesen factibles, se plantean para el largo plazo (más allá del año 2030). Por otra parte las energías renovables son la “eterna” solución, pero el aumento de la capacidad instalada no ha generado las suficientes economías de escala como para reducir su coste hasta niveles competitivos. Por lo tanto necesitan incentivos económicos que encarecen el abastecimiento energético y las tensiones en la factura eléctrica aumentan en paralelo a la introducción de más energías renovables.

Algunas actuaciones regulatorias recientes, como la obligación de mantener una cuota mínimo de consumo de carbón nacional muestran la falta de coherencia del Gobierno en materia energético ambiental porque: este combustible es menos eficiente que el carbón importado; impone unos costes extras al sector eléctrico y al precio de la electricidad; y aumenta las emisiones del sector eléctrico, en un contexto en el que se barajan unos objetivos de reducción de las mismas del -20% para 2020. Por ello la mayoría de los analistas abogan por el incremento de los precios energéticos y la sociedad podría entender dicho incremento si está ligado a la lucha contra el cambio climático, y no al mantenimiento de una actividad ineficiente como la producción con carbón nacional. Las señales de precios son el mayor incentivo para que familias y empresas modifiquen su demanda energética tanto en cantidad como en productos. El problema quizás es que los Gobiernos y la oposición no están convencidos de que la

sociedad apoye una subida generalizada de los precios en sus países para luchar contra el cambio climático. Esto significa que creen que, aunque el cambio climático es una preocupación para la sociedad, no lo es tanto como para sacrificar una parte de sus ingresos y de su forma de vida.

## ***6. La seguridad de suministro desde la perspectiva de la demanda energética***

6.1. Introducción.....	194
6.2. El concepto de seguridad de suministro.....	195
6.3. Evolución de la demanda energética.....	197
6.4. Riesgo en el suministro energético.....	211
6.5. Vulnerabilidad del suministro energético .....	214
6.6. Conclusiones y recomendaciones.....	218

## 6.1. Introducción

Los objetivos para reducir la IE son tres: asegurar la seguridad de suministro, minimizar el impacto ambiental y aumentar la competitividad de la economía. En este capítulo se analiza la seguridad de suministro en España y cómo ha afectado la evolución de la IE a la misma. Para ello se analiza cómo se suministra la demanda, qué fuentes energéticas se están utilizando y cuáles son sus implicaciones en términos de seguridad de suministro.

La seguridad de suministro está adquiriendo un gran protagonismo en las agendas políticas de los países de la UE, como consecuencia del temor sobre las consecuencias que una interrupción de suministro o una abrupta escalada de precios de la energía podrían tener sobre la economía de los países. En España, alrededor del 80% del consumo de energía se importa, esta cantidad aumenta hasta el 99% en el caso del petróleo crudo y el gas y el 76% en el caso del carbón. Recientes episodios de inestabilidad política en los países productores de petróleo y las tensiones en las relaciones de la UE con algunos países suministradores (Rusia) han llevado a una percepción de un mayor riesgo en el suministro energético. Por lo tanto existe una preocupación cada vez mayor en el Gobierno sobre cómo suministrar una demanda energética creciente sin un aumento de la dependencia de energía importada. Si se desagrega el análisis por sectores económicos se puede obtener una mejor idea de cuál son los más vulnerables, a quienes dirigir las políticas públicas.

En los últimos años el Gobierno español ha puesto en marcha toda una batería de medidas para reducir las emisiones de GEI, mientras que las medidas para aumentar la seguridad de suministro se han quedado en un segundo plano. No obstante, muchas de las medidas para reducir emisiones tienen impactos positivos en la seguridad de suministro, por ejemplo, la eficiencia energética, las energías renovables o la utilización de biocombustibles locales o energía nuclear. Ahora bien la persecución de la seguridad de suministro no es necesariamente buena para las emisiones de GEI, puesto que el uso de carbón autóctono para sustituir las importaciones de petróleo o gas puede incrementar cuantiosamente las emisiones de GEI. Por eso es importante alinear las agendas de seguridad de suministro y de cambio climático. Unas políticas inteligentes en estas áreas podrían resultar en una mayor diversificación de los suministros y una menor exposición a la volatilidad de los precios del gas y del petróleo, por lo tanto una opción ganadora para la lucha contra el cambio climático y la seguridad energética del país.

En este capítulo se analiza la problemática de la IE y la seguridad de suministro, dejando para el siguiente capítulo el análisis de las emisiones de GEI. En primer lugar, el análisis se centra en cómo la demanda de las fuentes de energía y de los distintos sectores ha cambiado entre 1980 y 2006. En segundo lugar, se aplica la metodología

de desagregación de índices para identificar cómo ha evolucionado la dependencia energética de los sectores por los cambios en el porcentaje de importaciones, en la demanda de combustibles y en la demanda final. En esta sección se analiza por separado el sector eléctrico y los sectores consumidores finales. En tercer lugar, se analiza el riesgo del suministro energético en España y en cuarto lugar, se utiliza el índice de Herfindahl para estudiar la vulnerabilidad de los sistemas energéticos. Por último, se concluye con unas recomendaciones.

## **6.2. El concepto de seguridad de suministro**

La definición más extendida de seguridad energética es la que ofrece la Agencia Internacional de la Energía como la disponibilidad de una oferta adecuada de energía a precios asequibles. Dentro de esta definición existe un amplio margen para la interpretación, ya que no se concreta qué es una oferta adecuada y qué son unos precios asumibles.

El suministro energético se ha venido considerando tradicionalmente como un elemento estratégico para los países, por lo que su análisis se ha realizado en muchas ocasiones desde la óptica de la seguridad nacional (Avedillo y Muñoz, 2007). La seguridad energética es el entorno institucional que permite a los individuos, en función de su grado de aversión al riesgo, establecer distintos tipos de contratos cuya ejecución no sería posible sin la existencia de un cierto grado de seguridad energética.

En este sentido, desde el punto de vista económico, la seguridad energética entra dentro de la definición de un bien público: no hay rivalidad en su consumo, ya que es consumido por varios individuos sin que el consumo por uno de ellos derive en una pérdida de utilidad para otro; y no es excluible, pues una vez se dota no se puede impedir su consumo a ningún individuo. Desde el punto de vista económico, si se dejara exclusivamente a la iniciativa privada la provisión de los bienes públicos, estos serían ofrecidos en una cantidad muy inferior a la socialmente eficiente. Como la producción de esos bienes tiene un coste, pero no puede excluirse a nadie de su uso, aunque no hayan pagado por ellos, la iniciativa privada no percibe los ingresos necesarios para compensar la producción de bienes públicos. Por esta razón podría suceder que la intervención del sector público fuese necesaria en algún momento para dotar de los adecuados niveles de seguridad energética.

Entre las externalidades que la seguridad de suministro ocasiona se incluyen: un mayor coste marginal en un país con significativas importaciones de petróleo; la influencia sobre la inflación y la balanza comercial; y una fuerte reducción del consumo energético ante un shock de precios y descenso de la producción económica por debajo de su potencial, debido a las rigideces del mercado y los costes de ajuste. En la práctica estos costes pueden ser mitigados por el sector privado. Las empresas pueden

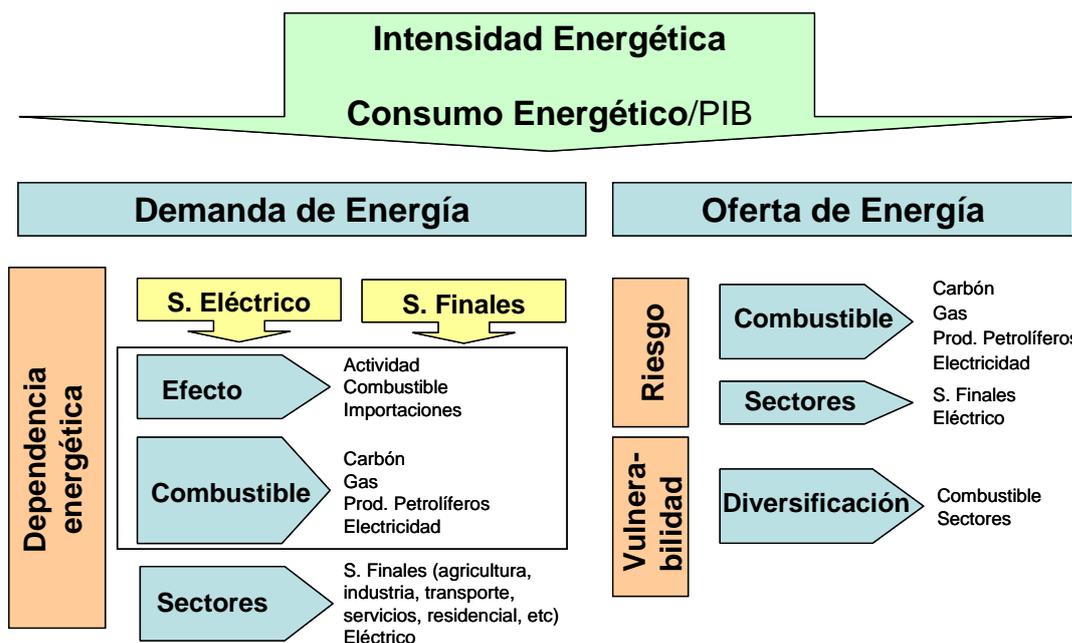
gestionar los almacenamientos de petróleo y cubrir los riesgos de precios a corto plazo en mercados de futuro o a plazos. También pueden invertir en tecnologías que les permitan fácilmente sustituir recursos energéticos o factores productivos. No obstante existe cierto consenso entre los analistas de que un shock energético puede tener consecuencias macroeconómicas importantes. La literatura en esta área se ha concentrado en dos medidas para mitigar estos riesgos: la restricción de las importaciones de petróleo y el almacenamiento estratégico para mitigar shocks de precios. Aunque muchos analistas creen que la seguridad de suministro es una cuestión regulatoria importante, según Toman (1993) la literatura no ha dado un argumento convincente para la intervención de los Gobiernos.

Los riesgos a la seguridad energética provienen de la dependencia exterior de recursos fósiles y del crecimiento de la dependencia energética de nuestra economía. Esta dependencia afecta a la vulnerabilidad de un país ante una crisis energética, pero hay otros factores que también influyen tanto en la demanda como en la oferta. Por el lado de la demanda, la vulnerabilidad de la economía ante episodios de inseguridad energética depende los precios energéticos sobre todo, de la proporción de la demanda energética satisfecha con importaciones, del tipo de energía demandada, de la capacidad de los sectores de sustituir los combustibles demandados, del peso de los sectores en el consumo total de energía, de la flexibilidad productiva de los sectores, etc. Por su parte la vulnerabilidad en la oferta energética está influida por la diversificación de los suministros energéticos, la capacidad de interconexión eléctrica y de gas con otros países, el marco regulatorio, la estabilidad política de los países productores, las relaciones con los principales suministradores, etc.

En este capítulo se analiza la evolución de estos factores a lo largo del tiempo a través de diversos indicadores, tal y como se recoge en el cuadro 6.1.

Por un lado, se analiza la evolución de la demanda de energía por parte de los sectores económicos entre 1980 y 2006, lo que permite identificar su nivel de diversificación, su capacidad de sustitución entre combustibles y cómo ha influido cada sector en la evolución de la dependencia energética exterior del país, entendida ésta como el incremento de las importaciones de energía en ese período. Por el lado de la oferta se analiza cuantitativamente cómo ha evolucionado el nivel de riesgo de las importaciones energéticas y el grado de diversificación de los suministros en todo el país y en cada sector. De esta manera se puede identificar cuáles son los sectores más vulnerables a un shock energético.

**Cuadro 6.1. Análisis de indicadores de seguridad de suministro**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 6.3. Evolución de la demanda energética

En esta sección el análisis se centra en la evolución de la demanda energética entre 1980 y 2006 (tabla 6.1). La demanda de combustibles se ha diversificado en ese período, aunque los productos petrolíferos siguen siendo los más demandados (pasando de un 67% en 1980 a un 47% en 2006). El gas ha sido el que ha capturado la mayor parte de esa diferencia gracias al desarrollo de infraestructuras de gas (aporta el 16% del consumo en 2006). La fuente energética que más ha aumentado su demanda después del gas ha sido la electricidad, entre 1990 y 2006 prácticamente se ha duplicado su demanda. La falta de estadísticas del consumo final de biomasa antes de 1990 explica los fuertes crecimientos en renovables mostrados en la tabla 6.1. No obstante, es resaltable el hecho de que la mayor parte del crecimiento de esta fuente energética desde 1995 se ha producido en la generación eólica.

Por sectores, el sector eléctrico y la industria son los principales consumidores de energía. Aunque si se suma el consumo energético de las familias, tanto en los hogares como en el transporte, este sector se convierte en el principal consumidor energético en España. En este capítulo se analizan las implicaciones que tienen el consumo energético del sector eléctrico y de los sectores finales<sup>48</sup> en la dependencia energética. Por tanto no se analiza el consumo de los otros sectores de transformación y de los

<sup>48</sup> Los sectores finales incluyen la agricultura, la industria, el transporte, los servicios, el transporte privado y el residencial.

sectores no energéticos. De todas formas en ambos casos el principal consumo es el de productos petrolíferos y éste varía en el período proporcionalmente mucho menos (tabla 6.2).

**Tabla 6.1. Consumo por fuente energética (ktep)**

	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2006</b>
Carbón	9.609	14.071	12.000
Renovables	235	4.006	4.571
Petróleo	1.560	878	236
Nuclear	906	9.477	10.499
Hidráulica	0	1	0
Gas	1.203	4.838	23.247
Productos petrolíferos	45.243	44.201	68.556
Electricidad	9.273	12.968	25.445
<b>TOTAL</b>	<b>68.028</b>	<b>90.440</b>	<b>144.554</b>

*Nota: Incluye los consumos no energéticos.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

**Tabla 6.2. Consumo energético por sectores (ktep)**

	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2006</b>
Eléctrico	13.366	22.292	32.002
Otros energía	5.640	6.282	8.630
Agricultura	2.322	1.665	2.754
Industria	18.849	19.392	29.669
Transporte	7.892	11.696	20.583
Servicios	2.169	3.412	8.192
Residencial	5.133	9.154	14.755
Tpte privado	8.051	10.706	20.239
No energéticos	4.606	5.841	7.730
<b>TOTAL</b>	<b>68.028</b>	<b>90.440</b>	<b>144.554</b>
<b>Total analizado</b>	<b>57.782</b>	<b>78.317</b>	<b>128.194</b>

*Nota: El total analizado en este capítulo incluye todos los sectores excepto el de "otros energía" y los "no energéticos".*

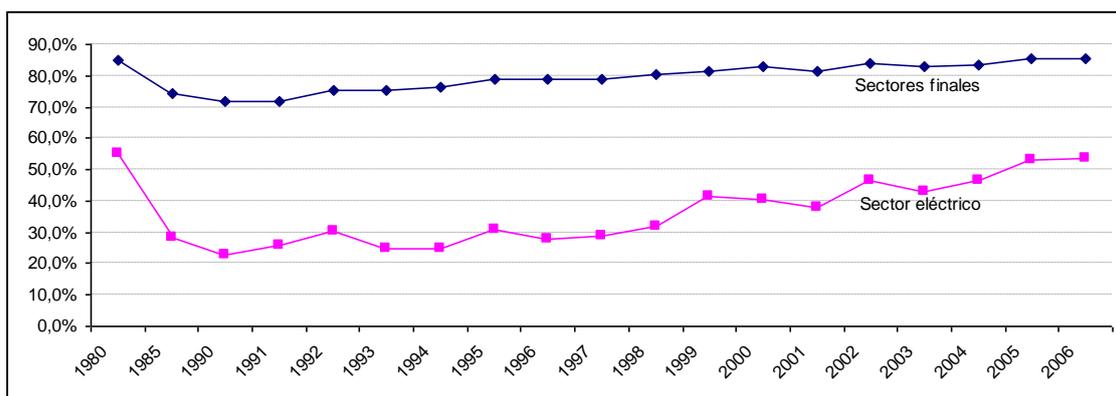
*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

### 6.3.1. Dependencia energética exterior de los sectores finales

#### A. EVOLUCIÓN DE LA DEPENDENCIA ENERGÉTICA

La dependencia energética indica el grado de control sobre las fuentes de suministro energético de un país y se suele medir con indicadores del grado de autosuficiencia energética o la diversificación de orígenes o el riesgo de los países suministradores. Para analizar la dependencia energética exterior de la economía española se puede cuantificar cómo ha influido el cambio de suministros energéticos, tanto en la fuente energética como en si éstos son importados o no. También se puede cuantificar cómo ha influido la demanda energética de cada sector en la evolución de esos factores. Para ello se utiliza la metodología de desagregación de índices descrita en el capítulo 3.

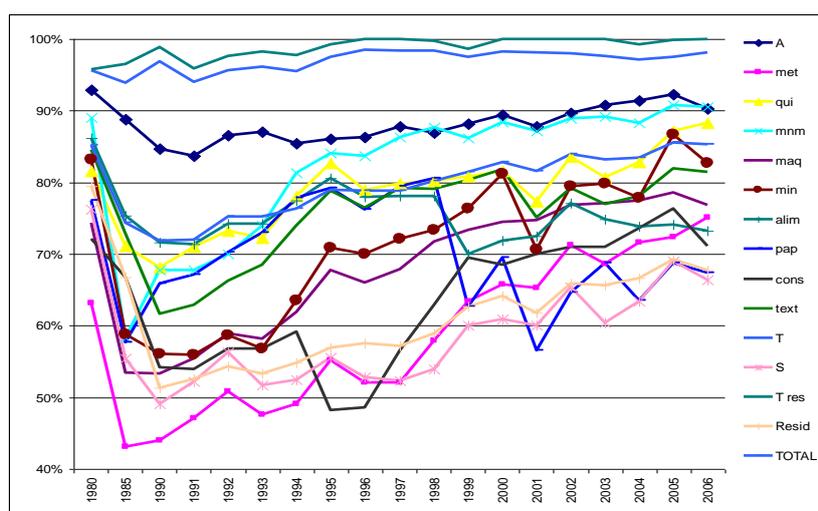
**Gráfico 6.1. Evolución del porcentaje de la energía suministrada con importaciones en España.**



*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

En esta sección se define la dependencia energética como la cantidad de energía importada neta (importaciones menos exportaciones) necesaria para abastecer la demanda de los sectores (ratio de dependencia energética).

**Gráfico 6.2. Ratios de dependencia energética por sector.**



*Nota: agricultura (A); metales básicos (met), química (qui); minerales no metálicos (mnm); maquinaria (maq), minería (min), alimentación (alim); papel (pap); madera (mad) construcción (cons); textil (tex); otros (n.e); transporte mercancías y viajeros (T); servicios (S); transporte privado (T res); residencial(R).*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a)*

En el gráfico 6.1 se muestra la evolución de los ratios de la energía importada neta por la demanda total en España para los sectores finales y la electricidad y en el gráfico 6.2 se muestran estos ratios desagregados por sectores. Los ratios se han calculado multiplicando el consumo energético de cada sector y de cada combustible por el ratio de importaciones netas de cada combustible. En la tabla 6.3 se muestran los ratios de importación por combustible para el periodo entre 1990 y 2006.

**Tabla 6.3. Ratios de importación por combustibles.<sup>49</sup>**

	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Carbón	33%	30%	37%	42%	46%	41%	39%	45%	48%	37%	48%	58%	61%	58%	67%	63%	67%	70%	76%
Renovables	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Petróleo	96%	96%	99%	96%	98%	98%	98%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%
Nuclear	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Hidráulica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gas	97%	90%	74%	79%	83%	89%	100%	97%	96%	100%	100%	100%	100%	97%	100%	99%	98%	100%	100%
Prod pet	96%	96%	99%	96%	98%	98%	98%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%
Electricidad	55%	24%	23%	26%	30%	25%	25%	31%	28%	29%	32%	41%	41%	38%	47%	43%	47%	53%	54%

*Nota: Los ratios para la electricidad se han calculado considerando los consumos de cada fuente energética y su correspondiente ratio de dependencia energética.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

<sup>49</sup> En este capítulo se respeta la forma en que las estadísticas oficiales tratan habitualmente la energía nuclear, pero se quiere hacer constar que, estrictamente, la dependencia energética española es superior, pues el combustible utilizado en las centrales nucleares se importa. España tiene recurso de mineral de uranio, al igual que otros muchos países, pero solamente unos pocos países, entre los que no se encuentra España, tienen la tecnología necesaria para procesar el mineral y convertirlo en el combustible que se utiliza en las centrales. Siendo esta la situación, es impropio decir que la energía nuclear es autóctona.

Las principales conclusiones del análisis de estos ratios son las siguientes:

- La dependencia energética de los sectores finales es muy alta, superior al 80% en la mayoría de los casos y ha mantenido una senda creciente desde principios de los noventa. Los sectores más dependientes son el transporte, la agricultura, la industria química y los minerales no metálicos. En el caso del sector eléctrico la dependencia es mucho menor (un 55%) porque la generación nuclear, la hidráulica y la renovable contribuyen con una parte importante de la producción total.
- La construcción de centrales nucleares en los años 80 redujo en 10 puntos porcentuales la dependencia energética de los sectores finales y en 31 puntos porcentuales la del sector eléctrico.<sup>50</sup> Esa mejoría ha sido absorbida en ambos casos por el crecimiento de la demanda y la necesidad de cubrirla con productos importados.
- Como no existe hasta la fecha ningún plan de aumentar la generación nuclear en España, las energías renovables son la única posibilidad de reducir la dependencia energética. El petróleo se importa en su totalidad y se transforma en las refinerías en productos petrolíferos (se asigna a todos el mismo ratio de dependencia energética). El gas también se importa en su práctica totalidad y el carbón autóctono apenas representa la cuarta parte del consumo de carbón en España.
- La sustitución de gas o de productos petrolíferos por electricidad reduce la dependencia energética de los sectores. De hecho los hogares y los servicios son los sectores que tienen unos ratios de dependencia más bajos porque cubren una parte importante de su consumo con electricidad.

## **B. METODOLOGÍA**

La ecuación explicativa de la dependencia energética es:

$$DE = \sum_c \sum_i E \times \frac{E_{c,i}}{E} \times \frac{I_{c,i}}{E_{c,i}}$$

donde la dependencia energética (DE) es igual al producto de la energía total demandada (E), la proporción de combustibles utilizados (c) para cubrir la demanda de cada sector (i) sobre la energía total ( $E_{c,i}/E$ ) y la proporción de los combustibles importados en cada sector sobre la demanda energética de cada sector ( $I_{c,i}/E_{c,i}$ ). Además,

---

<sup>50</sup> Véase nota anterior.

$$E = \sum_c \sum_i E_{c,i} \text{ y } DE = \sum_c \sum_i I_{c,i}$$

El incremento de la dependencia energética ( $\Delta DE$ ), esto es el incremento de las importaciones energéticas de los sectores, depende de la demanda de energía ( $Ef_{.act}$ ), de los combustibles que se utilizan para abastecer la demanda de los sectores ( $Ef_{.comb}$ ) y de la medida en que se utilizan las importaciones de combustibles de los sectores ( $Ef_{.imp}$ ). Así, la variación de la dependencia energética de cada sector se puede explicar por la suma de esos tres efectos:

$$DE_1 - DE_0 = Ef_{.comb} + Ef_{.imp} + Ef_{.act} \quad (1)$$

La matriz DE se obtiene multiplicando la matriz de consumos finales de cada combustible por el ratio de dependencia de cada combustible (tabla 6.3). En la tabla 6.4 se muestran las matrices  $DE_{1990}$  y  $DE_{2006}$  y su diferencia ( $DE_{2006} - DE_{1990}$ ).

**Tabla 6.4. Evolución de la dependencia energética entre 1990 y 2006 (ktep).**

1990																	
	A	met	qui	mnm	maq	min	alim	pap	mad	cons	text	n.e.	T	S	T res	Resid	TOTAL
Carbón	3	551	55	421	32	2	9	10	0	0	0	0	0	6	0	102	1.191
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Petróleo	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Gas	2	255	533	712	261	7	188	309	8	1	202	46	0	142	0	472	3.140
Prod. Petrol.	1.335	584	1.278	1.807	292	109	885	360	29	45	249	29	11.253	1.034	10.586	3.526	33.400
Electricidad	70	348	203	136	145	33	113	78	28	15	75	69	72	494	0	595	2.475
<b>total</b>	<b>1.410</b>	<b>1.738</b>	<b>2.097</b>	<b>3.075</b>	<b>731</b>	<b>151</b>	<b>1.195</b>	<b>757</b>	<b>65</b>	<b>62</b>	<b>526</b>	<b>144</b>	<b>11.325</b>	<b>1.676</b>	<b>10.586</b>	<b>4.695</b>	<b>40.234</b>
2006																	
	A	met	qui	mnm	maq	min	alim	pap	mad	cons	text	n.e.	T	S	T res	Resid	TOTAL
Carbón	0	635	91	96	0	0	13	0	0	0	0	46	0	36	0	149	1.066
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Petróleo	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Gas	278	1.510	3.164	3.339	685	110	1.061	1.000	145	35	401	968	0	741	0	3.042	16.479
Prod. Petrol.	1.932	696	598	2.553	337	119	439	250	53	123	130	213	19.950	1.630	20.239	3.785	53.047
Electricidad	278	1.377	639	613	545	73	538	379	124	127	182	326	247	3.035	0	3.030	11.514
<b>total</b>	<b>2.488</b>	<b>4.218</b>	<b>4.505</b>	<b>6.601</b>	<b>1.567</b>	<b>302</b>	<b>2.051</b>	<b>1.629</b>	<b>322</b>	<b>285</b>	<b>713</b>	<b>1.554</b>	<b>20.197</b>	<b>5.442</b>	<b>20.239</b>	<b>10.006</b>	<b>82.117</b>
2006-1990																	
	A	met	qui	mnm	maq	min	alim	pap	mad	cons	text	n.e.	T	S	T res	Resid	TOTAL
Carbón	-3	84	37	-325	-32	-2	4	-10	0	0	0	46	0	30	0	46	-126
Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Petróleo	0	0	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-17
Gas	276	1.255	2.631	2.627	424	103	873	691	137	34	199	922	0	599	0	2.570	13.339
Prod. Petrol.	597	112	-680	746	45	10	-446	-110	24	78	-119	184	8.697	596	9.654	259	19.647
Electricidad	208	1.029	436	477	400	41	424	301	96	112	107	258	175	2.541	0	2.435	9.039
<b>total</b>	<b>1.078</b>	<b>2.479</b>	<b>2.408</b>	<b>3.525</b>	<b>836</b>	<b>151</b>	<b>855</b>	<b>872</b>	<b>257</b>	<b>223</b>	<b>187</b>	<b>1.410</b>	<b>8.872</b>	<b>3.766</b>	<b>9.654</b>	<b>5.310</b>	<b>41.883</b>

*Nota: agricultura (A); metales básicos (met), química (qui); minerales no metálicos (mnm); maquinaria (maq), minería (min), alimentación (alim); papel (pap); madera (mad) construcción (cons); textil (tex); otros (n.e); transporte mercancías y viajeros (T); servicios (S); transporte privado (T res); residencial(R).*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a).*

A partir de la expresión (1) se puede calcular cómo afecta cada uno de los factores a la evolución de la energía importada. Dentro de las diferentes metodologías de desagregación de índices, explicadas en el capítulo 3, se selecciona la de Sun (1998), puesto que los métodos Divisia no se pueden utilizar con matrices. Con esta metodología se analiza la variación de una de las variables dejando las otras dos constantes. El residuo se reparte entre los tres efectos siguiendo el principio de

“conjuntamente creado, distribuido igualmente”. Los tres efectos se calculan de la siguiente forma:

$$Ef_{\text{comb}} = Imp_0 * Act_0 * \Delta Comb + 1/2 \Delta Comb * (Act_0 * \Delta Imp + Imp_0 * \Delta Act) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Imp * \Delta Act$$

$$Ef_{\text{imp}} = Comb_0 * Act_0 * \Delta Imp + 1/2 \Delta Imp * (Act_0 * \Delta Comb + Comb_0 * \Delta Act) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Imp * \Delta Act$$

$$Ef_{\text{act}} = Imp_0 * Comb_0 * \Delta Act + 1/2 \Delta Act * (Comb_0 * \Delta Imp + Imp_0 * \Delta Comb) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Imp * \Delta Act$$

El efecto combustible ( $Ef_{\text{comb}}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al abastecimiento de combustibles a los sectores ( $Comb$ ) y el reparto del residuo. La variación del abastecimiento de combustibles se calcula multiplicando la variación de la variable combustible entre el momento inicial y el final ( $\Delta Comb$ ) por las variables actividad ( $Act_0$ ) e importación ( $Imp_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

El residuo se distribuye de igual manera entre los tres efectos (véase el apartado 3.2.2 para más detalles sobre la formulación metodológica).

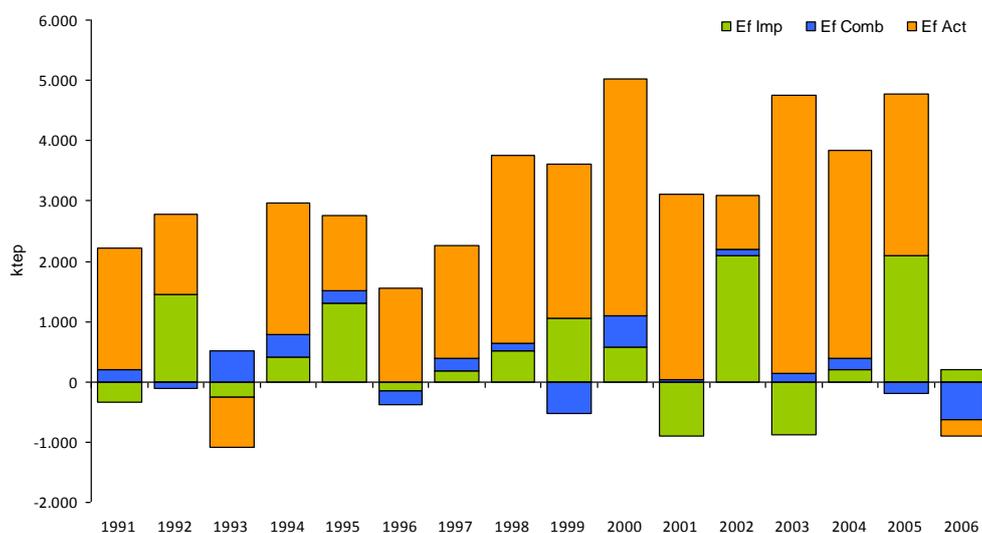
El efecto importación ( $Ef_{\text{imp}}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al efecto importación ( $Imp$ ) y el reparto del residuo. La variación del efecto importación se calcula multiplicando la variación de la variable importación entre el momento inicial y el final ( $\Delta Imp$ ) por las variables actividad ( $Act_0$ ) y combustible ( $Comb_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

El efecto actividad ( $Ef_{\text{act}}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al efecto actividad y el reparto del residuo. La variación del efecto actividad se calcula multiplicando la variación de la variable actividad entre el momento inicial y el final ( $\Delta Act$ ) por las variables importación ( $Imp_0$ ) y combustible ( $Comb_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

### **C. ANÁLISIS DE LA DESAGREGACIÓN DE LOS SECTORES**

En el gráfico 6.3 se muestra el resultado de la desagregación para el período 1990 - 2006 en los tres efectos. En el gráfico 6.3, el “Ef act” representa qué parte de la variación de las importaciones energéticas se debe al aumento (o descenso) de la demanda; el “Ef imp” refleja la parte que se debe a un incremento (o decremento) de las importaciones de energía; y, el “Ef. comb” señala qué parte de la variación se debe a un cambio de fuentes de suministro energético. En el cálculo de las matrices se incluye el ratio de dependencia energética del sector eléctrico, cuya metodología de cálculo se explica en el siguiente apartado.

**Gráfico 6.3. Desagregación de la dependencia energética de los sectores finales (ktep).**



*Nota: La desagregación se calcula para los años 1990-1991, 1991-1992,....2005-2006.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El aumento de la dependencia energética se debe principalmente al efecto actividad, esto es al incremento de la demanda de energía de los sectores. Detrás de este incremento está el aumento de la IE de algunos sectores. Esto significa que el aumento de su actividad económica ha generado proporcionalmente mayores demandas de energía. Al igual que sucedía con la IE, el transporte (mercancías y privado) y los minerales no metálicos son los mayores responsables del incremento de las importaciones energéticas en el período analizado.

La tabla 6.5 muestra la evolución de la dependencia energética por combustibles y cómo cada uno de ellos influye sobre la dependencia energética total. Estos efectos no se deben confundir con el efecto combustible recogido en el gráfico 6.3. En este caso cada combustible captura el efecto de incremento de actividad e importaciones. El "TOTAL" se refiere al incremento (o descenso) de las importaciones energéticas entre dos años ( $DE_1 - DE_0$ ) y la fila "1990-2006" recoge la suma de los efectos para todo el período analizado. Los productos petrolíferos, el gas y la electricidad marcan la evolución de la dependencia energética:

- Los productos petrolíferos son los que más han impulsado la dependencia energética en términos absolutos por el aumento de la movilidad de personas y mercancías (véase gráfico 6.4).

- Las importaciones de gas crecen más en términos relativos, pero en términos absolutos su contribución es bastante menor a la de los productos petrolíferos. Las mayores importaciones de gas se deben al desarrollo de infraestructuras de transporte y distribución de gas que han facilitado un mayor abastecimiento a los sectores finales. En general el gas ha capturado el incremento de la demanda de los sectores industriales. Además, el gas ha sustituido principalmente a los productos petrolíferos, sobre todo para los sectores químico, alimentación y papel. En 2006, por primera vez, las importaciones de gas se reducen considerablemente por las menores necesidades de calefacción del sector residencial y terciario debido a un clima más benigno.
- La electricidad contribuye de forma errática al incremento de la dependencia energética en función de la variabilidad de la hidraulicidad. En algunos años (1999, 2002 y 2005) la reducción de la generación hidroeléctrica por las menores lluvias hace que las compañías eléctricas utilicen más gas o carbón. El impacto dependerá del crecimiento de la demanda en esos años, que podría también verse influido por las condiciones climatológicas.

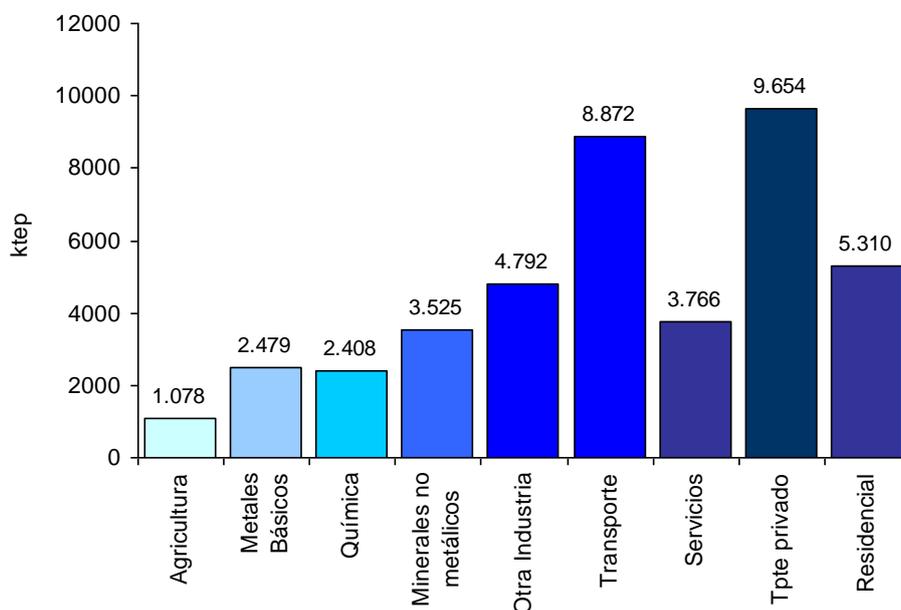
**Tabla 6.5. Desagregación de la dependencia energética por combustibles (ktep).**

	<b>Carbón</b>	<b>P. Petrolíferos</b>	<b>Gas</b>	<b>Electricidad</b>	<b>TOTAL</b>
1991	321	751	440	356	<b>1.868</b>
1992	25	1.579	469	581	<b>2.654</b>
1993	-513	52	538	-652	<b>-575</b>
1994	-77	2.337	531	180	<b>2.971</b>
1995	-36	764	1.206	827	<b>2.761</b>
1996	-63	1.101	342	-217	<b>1.163</b>
1997	-202	975	1.106	388	<b>2.267</b>
1998	71	2.126	973	595	<b>3.766</b>
1999	45	341	916	1.793	<b>3.095</b>
2000	9	2.494	2.241	271	<b>5.014</b>
2001	82	1.449	683	-7	<b>2.207</b>
2002	143	143	1.142	1.667	<b>3.095</b>
2003	-6	2.607	1.493	-216	<b>3.878</b>
2004	91	1.724	822	1.211	<b>3.848</b>
2005	-61	1.132	1.649	1.853	<b>4.572</b>
2006	45	55	-1.211	410	<b>-700</b>
<b>1990-2006</b>	<b>-126</b>	<b>19.631</b>	<b>13.339</b>	<b>9.039</b>	<b>41.883</b>

*Nota: La desagregación se calcula para los años 1990-1991, 1991-1992,....2005-2006.*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Gráfico 6.4. Desagregación de la dependencia energética por sectores entre 1990 y 2006 (ktep).**



*Fuente: Elaboración propia.*

El gráfico 6.4 muestra la evolución de la dependencia energética por sectores y cómo cada uno de ellos afecta a la dependencia energética total. En 2006 se importaron 41.883 ktep de energía más que en 1990 entre todos los sectores. En la aportación de cada sector influye cómo ha evolucionado su actividad y su selección de fuentes energéticas, que a su vez afecta a la necesidad de importarlas o no de forma directa o indirecta (a través del consumo de electricidad). Los resultados de esta desagregación están muy relacionados con la evolución de la IE de los sectores, puesto que el efecto actividad es muy importante. Así el transporte (de mercancías y privado), el residencial, los servicios y las ramas industriales más intensivas en energía (minerales no metálicos, metales básicos y química) empujan al alza la dependencia energética.

### 6.3.2. Dependencia energética exterior del sector eléctrico

#### A. METODOLOGÍA

La producción de electricidad ( $P_{ele}$ ) está condicionada por la demanda de electricidad, los insumos de energía primaria (gas, carbón, fuel, etc) y la eficiencia de las centrales de generación. Esto se puede resumir en la siguiente expresión:

$$P_{Ele} = \sum_c EI \times \frac{EI_c}{EI} \times \frac{EO_c}{EI_c} = \sum_c EI \times C_c \times EF_c$$

donde  $EI$  son los insumos de energía primaria que se consumen en las centrales de generación,  $C_c$  es la participación de cada combustible utilizado ( $EI_c$ ) sobre los insumos totales ( $EI$ ) y  $EF$  es el nivel de eficiencia para cada combustible, que se calcula como el cociente entre la producción de cada combustible ( $EOC$ ) y los insumos de ese combustible ( $EI_c$ ).

La dependencia energética del sector eléctrico ( $DE_{Ele}$ ) se calcula como la cantidad de energía importada para la producción de electricidad, que se obtiene multiplicando los insumos de cada combustible por el ratio de dependencia de cada combustible (tabla 6.3).

El incremento de la dependencia energética del sector eléctrico ( $DE_{Ele1} - DE_{Ele0}$ ) es la suma de los efectos de la variación de la demanda de electricidad ( $Ef_{act}$ ), de la variación de los combustibles que se utilizan para abastecer la demanda ( $Ef_{comb}$ ) y de la variación de la eficiencia de las centrales de generación ( $Ef_{efi}$ ):

$$DE_{Ele1} - DE_{Ele0} = Ef_{comb} + Ef_{efi} + Ef_{act} \quad (2)$$

A partir de la expresión (2) se puede calcular cómo afecta cada uno de los factores a la evolución de la energía importada para la producción de electricidad. A diferencia del ejercicio anterior, el efecto combustible aúna el efecto de cambio en la proporción de productos importados y de la proporción de combustibles utilizados. Se aplica de nuevo la metodología de Sun (1998) de desagregación de índices y se reparte el residuo entre los tres efectos siguiendo el principio de “conjuntamente creado, distribuido igualmente”. El valor de los tres efectos se calcula de la siguiente forma:

$$Ef_{comb} = Efi_0 * Act_0 * \Delta Comb + 1/2 \Delta Comb * (Act_0 * \Delta Efi + Efi * \Delta Act) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Efi * \Delta Act$$

$$Ef_{efi} = Comb_0 * Act_0 * \Delta Efi + 1/2 \Delta Efi * (Act_0 * \Delta Comb + Comb_0 * \Delta Act) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Efi * \Delta Act$$

$$Ef_{act} = Efi_0 * Comb_0 * \Delta Act + 1/2 \Delta Act * (Comb_0 * \Delta Efi + Efi_0 * \Delta Comb) + 1/3 \Delta Comb * \Delta Efi * \Delta Act$$

El efecto combustible ( $Ef_{comb}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al abastecimiento de combustibles importados ( $Comb$ ) y el reparto del residuo. La variación del abastecimiento de combustibles importados se calcula multiplicando la variación de la variable combustible entre el momento inicial y el final ( $\Delta Comb$ ) por las variables actividad ( $Act_0$ ) y eficiencia ( $Efi_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

El residuo se distribuye de igual manera entre los tres efectos (véase el apartado 3.2.2 para más detalles sobre la formulación metodológica).

El efecto eficiencia ( $Ef_{.efi}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al efecto de eficiencia de las centrales de generación ( $Efi$ ) y el reparto del residuo. La variación del efecto eficiencia se calcula multiplicando la variación de la eficiencia de las centrales de generación entre el momento inicial y el final ( $\Delta Efi$ ) por las variables actividad ( $Act_0$ ) y combustible ( $Comb_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

El efecto actividad ( $Ef_{.Act}$ ) es el resultado de sumar la variación debida al efecto actividad y el reparto del residuo. La variación del efecto actividad se calcula multiplicando la variación de la demanda de electricidad entre el momento inicial y el final ( $\Delta Act$ ) por las variables eficiencia ( $Efi_0$ ) y combustible ( $Comb_0$ ), que se mantienen constantes en el año inicial.

Esta descomposición no incluye los consumos propios ni las pérdidas de distribución producidas tras el proceso de generación de electricidad.

## **B. ANÁLISIS DE LA DESAGREGACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO**

En la tabla 6.6 se muestra la evolución de la eficiencia energética y la dependencia energética del sector eléctrico durante el período analizado. Estos ratios se han utilizado para calcular la dependencia energética del consumo de electricidad de los sectores, mostrada en el apartado anterior.

**Tabla 6.6. Eficiencia y dependencia energética del sector eléctrico (ktep).**

	<b>Input importado (I)</b>	<b>Eficiencia (O/I)</b>	<b>Dependencia</b>
<b>1980</b>	21.204	<b>44%</b>	<b>55%</b>
<b>1985</b>	24.741	<b>44%</b>	<b>28%</b>
<b>1990</b>	33.143	<b>39%</b>	<b>23%</b>
<b>1991</b>	33.908	<b>39%</b>	<b>26%</b>
<b>1992</b>	36.004	<b>37%</b>	<b>30%</b>
<b>1993</b>	33.668	<b>40%</b>	<b>25%</b>
<b>1994</b>	34.487	<b>40%</b>	<b>25%</b>
<b>1995</b>	36.717	<b>39%</b>	<b>31%</b>
<b>1996</b>	35.014	<b>43%</b>	<b>28%</b>
<b>1997</b>	38.183	<b>43%</b>	<b>29%</b>
<b>1998</b>	38.757	<b>43%</b>	<b>32%</b>
<b>1999</b>	43.197	<b>41%</b>	<b>41%</b>
<b>2000</b>	45.652	<b>42%</b>	<b>41%</b>
<b>2001</b>	45.871	<b>44%</b>	<b>38%</b>
<b>2002</b>	49.440	<b>42%</b>	<b>47%</b>
<b>2003</b>	49.608	<b>45%</b>	<b>43%</b>
<b>2004</b>	52.451	<b>45%</b>	<b>47%</b>
<b>2005</b>	53.716	<b>46%</b>	<b>53%</b>
<b>2006</b>	53.752	<b>48%</b>	<b>54%</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

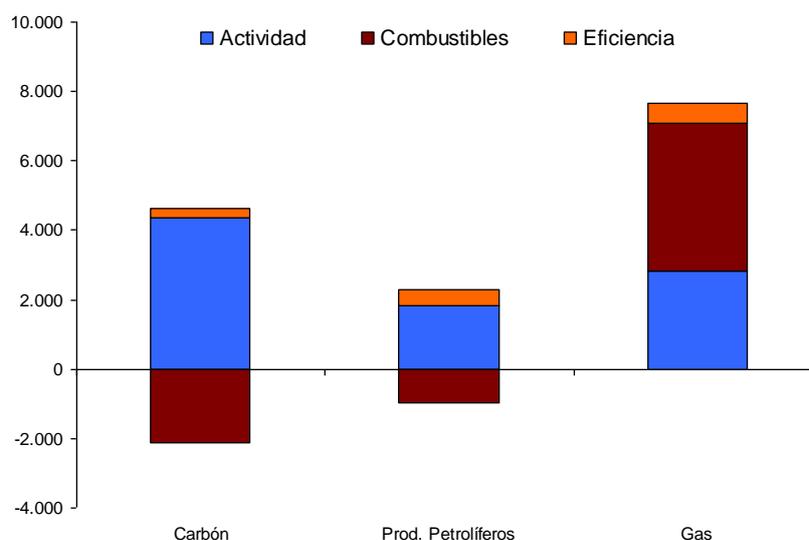
**Tabla 6.7. Desagregación de la dependencia energética del sector eléctrico (ktep).**

	<b>Actividad</b>	<b>Combustibles</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>TOTAL</b>
1991	394	-4	-29	<b>362</b>
1992	800	-4	-22	<b>774</b>
1993	-971	-1	212	<b>-760</b>
1994	129	64	-24	<b>169</b>
1995	1.046	-4	-147	<b>895</b>
1996	-629	43	395	<b>-191</b>
1997	496	315	16	<b>827</b>
1998	607	-203	265	<b>669</b>
1999	2.393	-12	-394	<b>1.986</b>
2000	313	-122	272	<b>464</b>
2001	-471	105	92	<b>-273</b>
2002	2.439	204	-345	<b>2.298</b>
2003	-796	274	113	<b>-409</b>
2004	1.450	309	34	<b>1.793</b>
2005	1.971	429	26	<b>2.427</b>
2006	90	475	-88	<b>477</b>
<b>1990-2006</b>	<b>9.262</b>	<b>1.869</b>	<b>375</b>	<b>11.505</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 6.7 se muestra la desagregación de la dependencia energética del sector eléctrico en los tres efectos antes descritos. Nuevamente el “Total” es la diferencia en la dependencia energética del sector eléctrico entre dos años y es igual a la suma de los tres efectos. En la fila “1990-2006” se muestra cómo ha aumentado la dependencia del sector eléctrico por los tres efectos entre 1990 y 2006. En el gráfico 6.5 se muestra la desagregación por combustible de los tres efectos entre 1990 y 2006.

**Gráfico 6.5. Desagregación de la dependencia energética del sector eléctrico entre 1990 y 2006.**

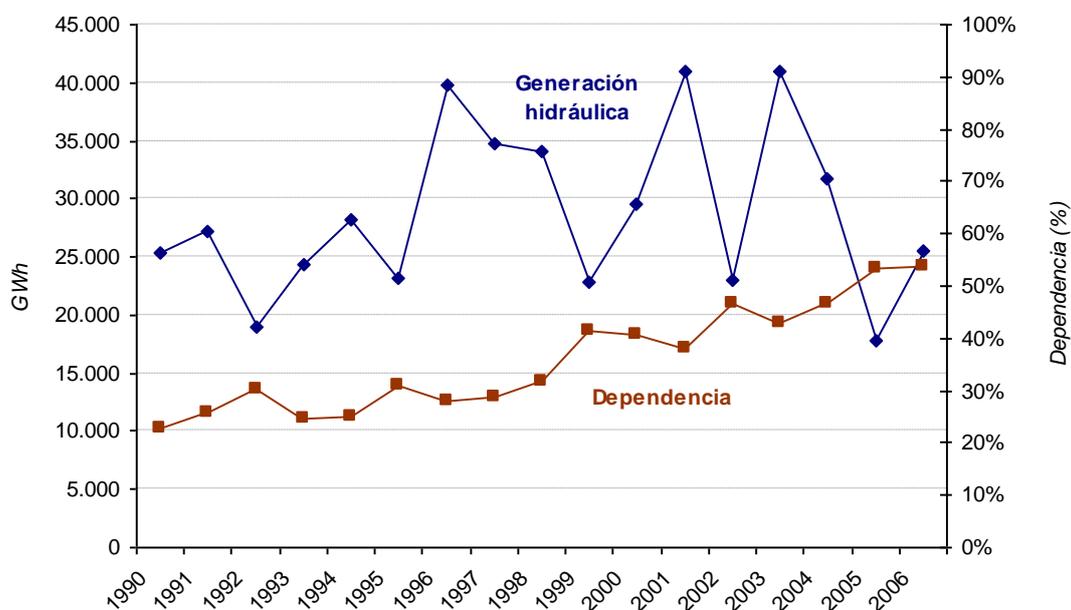


*Fuente: Elaboración propia.*

Las principales conclusiones del análisis de la dependencia del sector eléctrico son:

- La dependencia del sector eléctrico mejora considerablemente al considerar la generación nuclear como autóctona, ya que en la década de los 80 se construyeron la mayor parte de las centrales, pasando así de importar el 55% de los insumos del sector al 23% en el año 1990. Pero desde ese año la dependencia del sector no ha parado de crecer, recuperando en 2006 el nivel de 1980.
- La otra cara de la moneda es que la eficiencia energética del sector eléctrico empeoró con las centrales nucleares porque se utiliza la convención de la IEA por la que su eficiencia es del 33%. Desde la entrada masiva del gas en España y su utilización en los ciclos combinados de gas, la eficiencia ha aumentado considerablemente alcanzando el 48% en 2006. El aumento de la generación de electricidad con energías renovables (100% de eficiencia) también ha ayudado a esa mejora.
- La hidráulica afecta a la dependencia energética (gráfico 6.6). Cuando aumenta la generación hidroeléctrica se reducen las importaciones de combustibles fósiles (carbón y gas) y viceversa. Sin embargo, el impacto de este efecto se está reduciendo debido al fuerte incremento de la demanda de electricidad, que reduce el porcentaje de energía hidráulica sobre el total.

**Gráfico 6.6. Generación hidráulica y dependencia del sector eléctrico.**



Fuente: Elaboración propia.

- Entre 1990 y 2006 se ha producido una sustitución de la producción de electricidad con petróleo y carbón a favor del gas, como se aprecia en el gráfico 6.5. No obstante, se ha producido en ese período un aumento de la demanda de carbón importado y, en menor medida, de productos petrolíferos. La demanda de gas importado, tanto por el efecto actividad como de combustibles, ha sido tan fuerte que se ha convertido en el principal combustible importado para la producción de electricidad.

## 6.4. Riesgo en el suministro energético

Uno de los principales temores de cualquier país es una interrupción de suministro energético. Las posibilidades de interrupción de suministro efectivo dependen del número de países suministradores y el porcentaje del suministro abastecido por cada uno de ellos. Así, cuanto más diversificados estén los suministros menores serán los riesgos. La inestabilidad política de los países suministradores genera riesgos en la ejecución de los contratos de suministro y en el correcto funcionamiento de las infraestructuras necesarias para garantizar el suministro. Por ello resulta útil analizar cómo ha evolucionado el riesgo de los suministros energéticos en España.

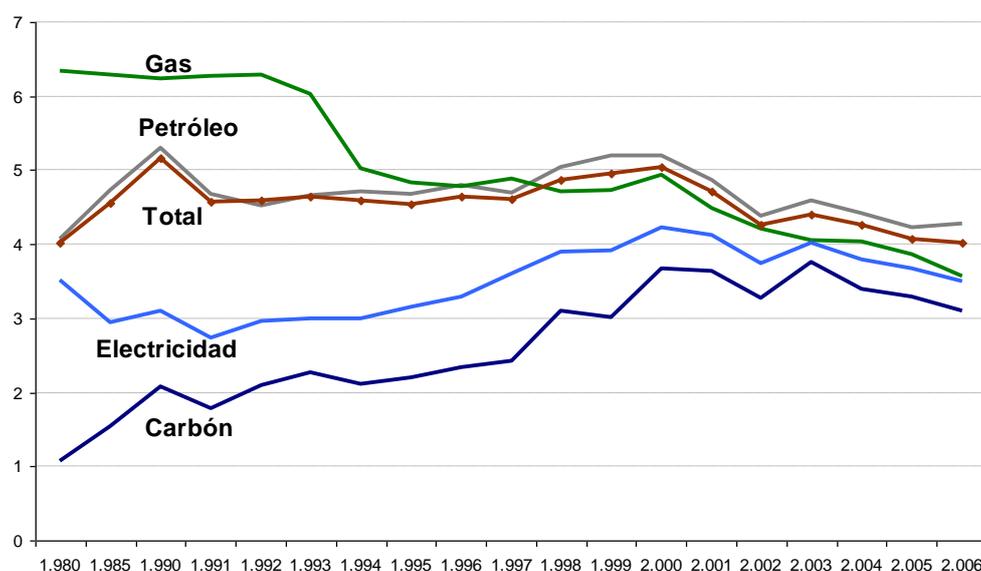
Para ello, se puede utilizar el índice sintético elaborado por la OCDE que clasifica a los países en ocho categorías de riesgo a través de la aplicación de una metodología basada en un análisis cuantitativo del riesgo de crédito del país, que incluye la situación económica y financiera, y un análisis cualitativo, que considera el riesgo político, entre otros factores (OCDE, 2008). Como tan sólo se dispone del índice sintético desde 1999, se utilizan los valores de ese año para los años anteriores.

Con estos índices se calcula el riesgo del suministro energético multiplicando, para cada combustible (carbón, petróleo y gas) y cada año (entre 1990 y 2006), el índice de riesgo del país por la participación de cada país en el aprovisionamiento de cada combustible. Para calcular el riesgo total se multiplica el riesgo de cada combustible por su participación sobre el consumo total de energía, tal y como se muestra en la siguiente expresión:

$$RT = \left[ \sum_i r_i g_i \right] * \frac{g}{M} + \left[ \sum_i r_i p_i \right] * \frac{p}{M} + \left[ \sum_i r_i c_i \right] * \frac{c}{M}$$

donde  $RT$  es el riesgo total,  $r$  es el riesgo de cada país de origen  $i$ ;  $g_i$  es la proporción del gas que proviene del país  $i$ ;  $p_i$  es la proporción de las importaciones de petróleo que provienen del país  $i$ ;  $c_i$  es la proporción de las importaciones de carbón que provienen del país  $i$ ;  $g$  es la importación total de gas,  $p$  es la importación total de petróleo y productos petrolíferos,  $c$  es la importación total de carbón; y  $M$  es la importación total de energía o, lo que es lo mismo, la suma de  $g$ ,  $p$  y  $c$ .

**Gráfico 6.7. Riesgo de las importaciones energéticas entre 1980 y 2006**



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 6.7 se muestra el riesgo de las importaciones de cada combustible y el riesgo total para el período 1980-2006. En la tabla 6.8 se muestra el riesgo de las importaciones de cada sector. Ahora bien, en algunos casos puede ser más relevante analizar cuál es el riesgo del consumo energético de los sectores en su conjunto, esto es considerando que los combustibles autóctonos consumidos tienen un riesgo cero. Por eso, en el gráfico 6.8 se muestra la comparación entre el riesgo de las importaciones y el riesgo del consumo energético para el año 2006.

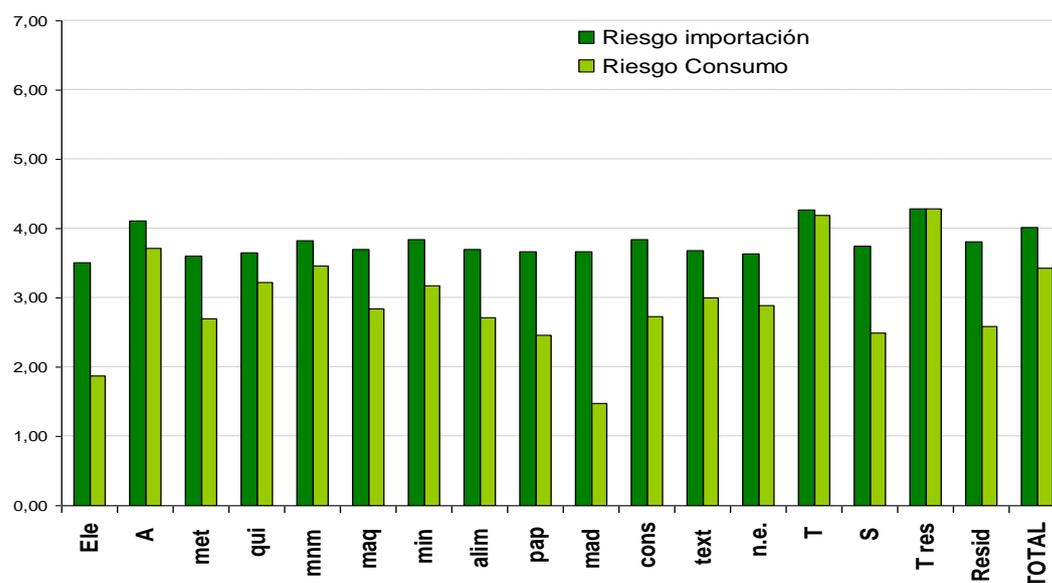
**Tabla 6.8. Riesgo de las importaciones de combustibles en los sectores**

	Ele	A	met	qui	mnm	maq	min	alim	pap	mad	cons	text	n.e.	T	S	T res	Resid	TOTAL
1980	3,52	4,05	3,51	3,99	4,07	3,84	3,96	4,09	4,08	3,94	3,83	3,98	4,47	4,07	4,03	4,07	4,07	4,01
1985	2,94	4,68	3,66	4,63	4,11	4,32	4,33	4,67	4,62	4,12	4,46	4,85	4,61	4,71	4,42	4,73	4,57	4,56
1990	3,10	5,18	3,95	5,23	4,97	5,03	4,79	5,20	5,40	4,39	4,74	5,33	4,48	5,29	4,68	5,30	5,03	5,14
1991	2,73	4,57	3,56	4,78	4,44	4,70	4,24	4,77	5,10	3,94	4,19	5,01	3,54	4,66	4,27	4,68	4,52	4,58
1992	2,96	4,43	3,68	4,84	4,43	4,72	4,22	4,78	5,15	3,98	4,23	5,07	3,38	4,66	4,29	4,68	4,52	4,59
1993	3,00	4,59	3,90	4,86	4,80	4,82	4,36	4,80	5,19	4,14	4,36	5,16	4,40	4,64	4,38	4,66	4,60	4,64
1994	3,00	4,64	3,70	4,63	4,60	4,46	4,42	4,62	4,71	4,08	4,36	4,68	4,40	4,71	4,26	4,72	4,49	4,59
1995	3,16	4,58	3,72	4,58	4,57	4,39	4,45	4,56	4,60	4,01	3,95	4,61	4,41	4,67	4,16	4,68	4,41	4,54
1996	3,28	4,70	3,77	4,62	4,64	4,46	4,54	4,62	4,62	4,16	4,18	4,63	4,32	4,79	4,28	4,79	4,53	4,65
1997	3,61	4,64	4,04	4,65	4,68	4,56	4,59	4,64	4,71	4,43	4,37	4,71	4,47	4,69	4,33	4,70	4,53	4,62
1998	3,90	4,95	4,28	4,74	4,81	4,64	4,72	4,74	4,69	4,60	4,72	4,69	4,77	5,03	4,54	5,04	4,74	4,87
1999	3,91	5,07	4,22	4,72	4,84	4,65	4,78	4,76	4,71	4,59	4,80	4,69	4,66	5,19	4,54	5,20	4,79	4,96
2000	4,23	5,12	4,58	4,89	4,96	4,84	4,96	4,90	4,93	4,80	4,91	4,89	4,69	5,19	4,74	5,20	4,93	5,04
2001	4,13	4,81	4,34	4,50	4,61	4,50	4,63	4,56	4,52	4,46	4,66	4,52	4,50	4,86	4,51	4,87	4,61	4,71
2002	3,74	4,32	3,95	4,13	4,22	4,12	4,18	4,18	4,15	4,08	4,16	4,14	4,12	4,38	4,06	4,39	4,17	4,26
2003	4,02	4,46	4,08	4,15	4,24	4,16	4,35	4,20	4,13	4,15	4,37	4,18	4,24	4,58	4,28	4,59	4,29	4,41
2004	3,80	4,31	3,92	4,05	4,17	4,06	4,22	4,09	4,05	4,02	4,15	4,07	4,06	4,42	4,08	4,42	4,15	4,26
2005	3,68	4,14	3,75	3,87	3,97	3,88	3,97	3,91	3,86	3,86	4,00	3,91	3,86	4,23	3,90	4,23	3,96	4,07
2006	3,50	4,11	3,60	3,65	3,83	3,70	3,83	3,70	3,66	3,66	3,85	3,68	3,64	4,27	3,74	4,28	3,81	4,01

Nota: agricultura (A); metales básicos (met), química (qui); minerales no metálicos (mnm); maquinaria (maq), minería (min), alimentación (alim); papel (pap); madera (mad) construcción (cons); textil (tex); otros (n.e); transporte mercancías y viajeros (T); servicios (S); transporte privado (T res); residencial(R).

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 6.8. Comparación del riesgo de las importaciones y el riesgo total en 2006.**



*Nota: agricultura (A); metales básicos (met), química (qui); minerales no metálicos (mnm); maquinaria (maq), minería (min), alimentación (alim); papel (pap); madera (mad) construcción (cons); textil (tex); otros (n.e); transporte mercancías y viajeros (T); servicios (S); transporte privado (T res); residencial(R).*

*Fuente: Elaboración propia.*

La evolución del riesgo se caracteriza por dos períodos diferenciados, cuyo punto de inflexión es el año 1990. En la década de los ochenta aumenta el riesgo de las importaciones de petróleo por el aumento de las importaciones de la antigua Unión Soviética y Nigeria, que suponen en 1990 el 29% de las importaciones con el índice de riesgo más alto (7), frente al 5% en 1980. La evolución del nivel de riesgo a partir de 1990 es mucho más interesante por los efectos conjuntos de la diversificación de aprovisionamientos y de suministradores, por lo que se centra el análisis en ese período. Las principales conclusiones son las siguientes:

- El riesgo de aprovisionamiento energético de los combustibles converge hacia niveles similares. Esto se produce porque se diversifican los aprovisionamientos de gas, gracias a la entrada en funcionamiento de las plantas de gas natural licuado (GNL), lo que permite reducir la dependencia en países con mayores índices de riesgo como Argelia o Libia. En el sentido contrario las importaciones de carbón evolucionan hacia un mayor riesgo por el cambio de suministradores más estables (Estados Unidos y Polonia) por otros con mayor índice de riesgo (Indonesia, Rusia y Colombia). El petróleo, por su parte se sigue importando de los mismos lugares (Rusia, Irán, Irak, Libia y Nigeria entre otros), que se caracterizan por tener un nivel de riesgo elevado.

- Los sectores económicos tienen unos niveles de riesgo similares, que varían entre 3,5 y 3,8 (siendo el riesgo máximo 7), excepto en los sectores del transporte y la agricultura, que con un índice mayor (4,2) impulsan al alza el indicador de riesgo total hasta 4. La diversificación energética y de las importaciones de productos energéticos ha tenido un impacto favorable en la reducción generalizada del nivel de riesgo de todos los sectores. Esto ha sido especialmente relevante en el sector químico, alimentación, papel y textil por distintos motivos. La entrada del gas ha favorecido la reducción del riesgo en todos ellos porque ha sustituido a las importaciones de petróleo. Pero lo que ha sido más destacable para el sector de alimentación y papel es la reducción del riesgo debido al incremento en la utilización de energías renovables, que aporta respectivamente el 10 y el 20% de su consumo energético en 2006.
- En consecuencia, los sectores que incurren más riesgos en su consumo energético han sido aquellos que demandan más productos petrolíferos (transporte, agricultura, química y minerales no metálicos<sup>51</sup>). En el otro extremo se sitúan los sectores en los que la electricidad cubre una parte muy importante de su consumo energético (residencial y terciario). La producción de electricidad disfruta de la mayor posibilidad de diversificación de riesgos de aprovisionamiento y de hacerlo sin recurrir a las importaciones. Por ello su nivel de dependencia y de aprovisionamiento es el más bajo de todos.

## 6.5. Vulnerabilidad del suministro energético

Tan importante como el nivel de riesgo de las importaciones es la capacidad de minimizar el impacto sobre la economía y la sociedad de un eventual corte de las fuentes de suministro o de un shock de precios de las materias primas energéticas. La vulnerabilidad de un país se reduce cuanto mayor es su flexibilidad para adaptar su consumo a las distintas circunstancias.

Una mayor diversificación de las energías consumidas mitiga la vulnerabilidad de los sistemas energéticos, ya que reduce el impacto de una eventual interrupción en el suministro de alguna de las materias primas que componen la cesta energética. La diversificación también reduce el riesgo de las importaciones, como se ha comprobado anteriormente. Riesgo de suministro y vulnerabilidad son dos caras de la misma moneda.

---

<sup>51</sup> En el caso de los minerales no metálicos hay que tener en cuenta que la mayor parte de las importaciones son de coke de petróleo, por tener un coste muy reducido y un alto valor calorífico. En caso de interrupción del suministro, este combustible puede ser sustituido por gas u otros combustibles con alto valor calorífico.

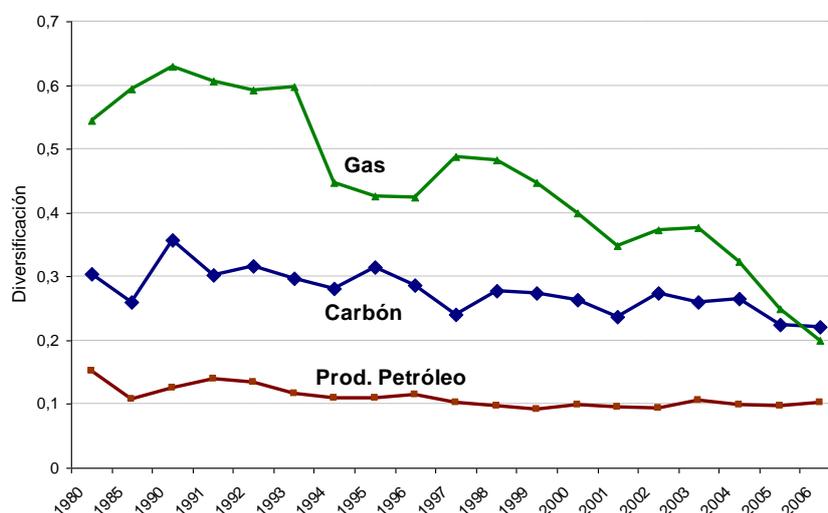
Una forma de calcular el grado de diversificación es el índice de Herfindahl. Habitualmente el índice de Herfindahl se utiliza como indicador del grado de competencia entre empresas o la concentración empresarial. El índice se define como la suma de los cuadrados de las cuotas de mercado de las empresas, donde las cuotas de mercado se expresan como porcentajes. En el caso del suministro energético, se puede calcular el índice como medida del grado de diversificación de los suministros energéticos e indicador del grado de vulnerabilidad de una economía. El índice Herfindahl (H) se define como:

$$H = \sum_{i=1}^N s_i^2$$

donde  $s_i$  es la cuota de mercado del suministrador  $i$ , y  $N$  es el número total de suministradores. Así, para un combustible que se abastece por dos suministradores que tienen cada uno una cuota de mercado del 50%, el índice de Herfindahl es igual a  $0.50^2 + 0.50^2 = 0.5$ .

Un aumento en el índice de Herfindahl indica, generalmente, una disminución de la competencia o una menor diversificación, mientras que un menor índice indica una mayor diversificación. La ventaja principal de este índice es que da más peso a los suministradores más grandes.

**Gráfico 6.9. Evolución del grado de diversificación por combustibles.**



*Nota: Cuanto menor es el nivel mayor es la diversificación.*

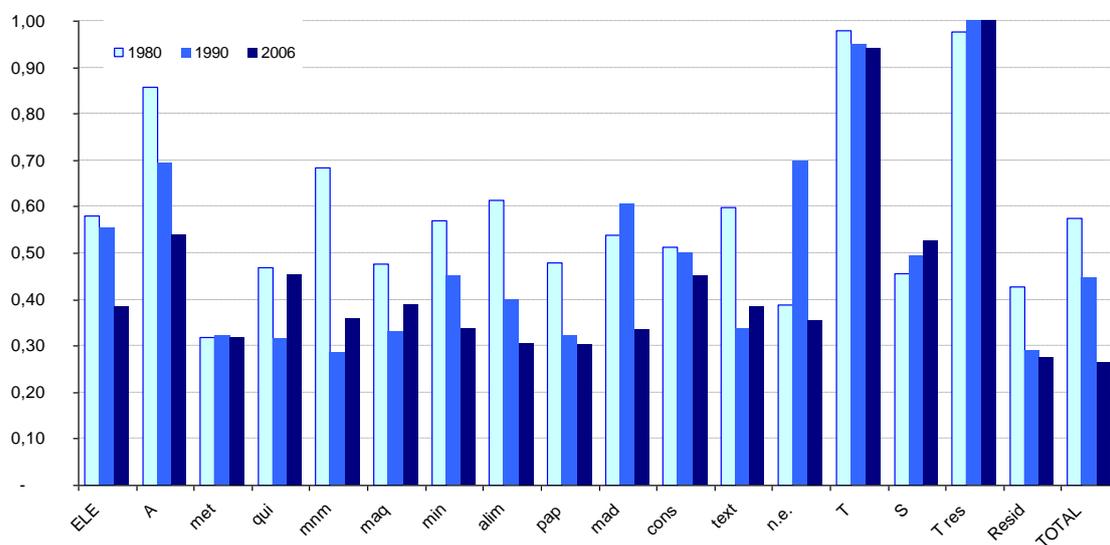
*Fuente: Elaboración propia.*

Para analizar la evolución del índice de diversificación se calculan los índices de diversificación para los tres combustibles que se importan en España: carbón, gas y

petróleo. Los resultados, que figuran en el gráfico 6.9, muestran que la diversificación de los suministradores energéticos es alta y ha evolucionado favorablemente. Contrariamente a lo que se suele pensar, el suministro de petróleo está muy diversificado y, además, lo está más que el de otros combustibles. El número de suministradores es mayor y ninguno tiene cuotas de suministro elevadas, exceptuando a Rusia, cuya cuota ha crecido considerablemente desde el año 2002 alcanzando el 20% en 2006. Los suministros de oriente medio provienen de 5 países y su cuota total no supera el 25%.

Pero, también interesa calcular el grado de diversificación de cada sector y de la economía en general. Para ello se aplica la misma metodología, pero esta vez la cuota de mercado refleja la parte que cada combustible aporta a la cesta de aprovisionamientos. La interpretación es distinta puesto que, en el primer caso, se analiza la capacidad de sustituir suministradores gracias a una mayor diversificación. En el segundo caso se analiza la posibilidad teórica de sustitución de fuentes energéticas, aunque se debe tener en cuenta que en la realidad algunos procesos no pueden utilizar cualquier combustible.

**Gráfico 6.10. Evolución del grado de diversificación por sectores.**



*Nota: agricultura (A); metales básicos (met), química (qui); minerales no metálicos (mnm); maquinaria (maq), minería (min), alimentación (alim); papel (pap); madera (mad) construcción (cons); textil (tex); otros (n.e); transporte mercancías y viajeros (T); servicios (S); transporte privado (T res); residencial(R).*

*Fuente: Elaboración propia.*

La conclusión de este análisis es que la cesta energética de los sectores económicos está bastante diversificada, excepto en aquellos sectores en los que el transporte

supone una parte importante de sus consumos energéticos. Casi todos los sectores han aumentado la diversificación de la cesta de aprovisionamientos. En total la economía española tiene un nivel de diversificación del 0,264 que es similar al nivel de la OCDE (0, 262).

Junto con la diversificación, y el riesgo de las importaciones, las relaciones comerciales con los países exportadores de suministros energéticos condicionan la vulnerabilidad de un país. En algunos casos, la dependencia exterior es bidireccional, cuando el país exportador es muy dependiente de sus exportaciones hacia un determinado país consumidor. Esta relación comercial otorga un alto poder de negociación al país importador y reduce los riesgos de interrupción del suministro. Estas relaciones son más especiales en el caso de las importaciones de gas, al ser un mercado más regional con estrechas relaciones entre suministrador y cliente, por la necesidad de disponer de grandes infraestructuras de transporte como gasoductos o instalaciones de GNL. En el caso español, como se ha visto anteriormente, los suministros de gas se han diversificado mucho en los últimos años y Argelia, que fue el principal suministrador en los años noventa con una cuota que llegó a superar en algunos años el 70%, tan sólo aportó en 2006 un 32% del gas consumido en España. El porcentaje del consumo de gas argelino sobre el total de sus exportaciones es cercano al 20%, pero el de Italia es de más del 40%.

Esta interdependencia es más elevada entre la Unión Europea y Rusia, el mayor exportador y productor de gas en el mundo. La UE importa un tercio del gas y del petróleo de este país y para Rusia los hidrocarburos representan más del 20% del PIB (Avedillo y Muñoz, 2007). Esto no ha sido suficiente para que a principios de enero de 2009 Rusia haya limitado los suministros de gas a los países del este de Europa, lo cual ha mostrado la enorme vulnerabilidad de algunos países.

Las interconexiones eléctricas y de gas garantizan flexibilidad en el sistema energético porque permiten recurrir a diferentes suministradores o vías de importación en caso de episodios de interrupción de suministro. Mientras que el carbón y el petróleo se comercializan fácilmente a través de las redes de transporte habituales, carreteras y puertos, la electricidad y el gas necesitan de unas redes de infraestructuras específicas que no siempre están lo suficientemente desarrolladas. Para la electricidad, la interconexión se refleja en la capacidad de importar y exportar electricidad a otros países. En España la ampliación de las interconexiones eléctricas con Francia es la asignatura pendiente. La suma de las importaciones y exportaciones tan solo representaron el 7% del consumo de electricidad en España.

En el caso del gas, la flexibilidad la otorgan las instalaciones de regasificación de Gas Natural Licuado (GNL), que permiten al país acceder a suministros de regiones de todo el mundo. En España se importa casi un 70% del gas por esa vía, gracias a la ampliación

de las instalaciones de regasificación, lo que le ha permitido ampliar el número de suministradores y reducir la vulnerabilidad.

## 6.6. Conclusiones y recomendaciones

Como se ha visto en las secciones anteriores el riesgo de interrupción de suministro en España proviene del crecimiento de la dependencia energética de nuestra economía, de la dependencia exterior de recursos fósiles, de la capacidad de los sectores de sustituir los combustibles demandados, del peso de los sectores intensivos en energía en la economía, de la diversificación de los suministros energéticos y de la capacidad de interconexión eléctrica y de gas con otros países.

Las principales conclusiones del análisis de la seguridad de suministro en España son:

- La dependencia energética es muy alta, superior al 80% en la mayoría de los sectores y ha mantenido una senda creciente. Los sectores más dependientes son el transporte, la agricultura, la industria química y los minerales no metálicos. El sector eléctrico tiene una dependencia mucho menor (un 55%) gracias a la generación hidráulica y renovable.
- El aumento de la dependencia se debe al incremento de la actividad económica principalmente, que se ha visto perjudicada por el empeoramiento de los ratios de IE. Nuevamente son el transporte (mercancías y privado) y los minerales no metálicos los mayores responsables del incremento de las importaciones energéticas.
- El riesgo de aprovisionamiento energético de los combustibles converge hacia niveles semejantes y los sectores económicos tienen unos niveles de riesgo similares. En el primer caso esto se ha producido porque se diversifican los aprovisionamientos de gas con la entrada en funcionamiento de plantas regasificadoras y así se converge hacia los niveles de riesgo del carbón o el petróleo. Los sectores que incurren en más riesgos en su consumo energético han sido aquellos que demandan más productos petrolíferos (transporte, agricultura, química y minerales no metálicos). En el otro extremo se sitúan los sectores en los que la electricidad cubre una parte muy importante de su consumo energético (residencial y terciario).
- Los aprovisionamientos en general están bastante diversificados, excepto en el transporte. Es destacable la notable mejora de la diversificación de los suministros de gas y la flexibilidad del sistema gasístico gracias a la construcción de instalaciones de regasificación de Gas Natural Licuado (GNL).

**Tabla 6.9. Resumen de las principales variables que afectan a la seguridad de suministro de los sectores.**

	<b>Consumo (ktep)</b>	<b>% Total</b>	<b>Dependencia</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Diversificación</b>
ELE	53.752	36%	54%	3,5	0,38
A	2.754	2%	90%	4,1	0,54
met	5.615	4%	75%	3,6	0,32
qui	5.102	3%	88%	3,6	0,45
mnm	7.294	5%	90%	3,8	0,36
maq	2.040	1%	77%	3,7	0,39
min	366	0%	83%	3,8	0,34
alim	2.798	2%	73%	3,7	0,31
pap	2.419	2%	67%	3,7	0,30
mad	796	1%	41%	3,7	0,33
cons	401	0%	71%	3,8	0,45
text	876	1%	81%	3,7	0,38
n.e.	1.962	1%	79%	3,6	0,36
T	20.699	14%	98%	4,3	0,94
S	8.192	5%	66%	3,7	0,53
T res	20.123	13%	100%	4,3	1,00
Resid	14.755	10%	68%	3,8	0,28
<b>Total</b>	<b>149.944</b>		<b>85%</b>	<b>4,0</b>	<b>0,26</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 6.9 se resumen los resultados obtenidos en el análisis de la seguridad de suministro por sectores. Como se ha comentado, el sector que incurre en menores riesgos es el sector eléctrico, gracias a la utilización de fuentes energéticas autóctonas y a la generación nuclear. En el otro extremo se sitúa el transporte, que depende casi completamente de los productos petrolíferos y es por tanto el sector más vulnerable de la economía. Como el consumo del sector eléctrico es el 36% del total y el del transporte el 24%, ambos sectores se compensan y hacen que los ratios totales se sitúen en un alto nivel de dependencia, un nivel medio de riesgo y un grado de diversificación elevado.

Las principales recomendaciones para mejorar la seguridad de suministro se centran en tres áreas de acción política: políticas de demanda, políticas de oferta y políticas transversales.

#### **A. POLÍTICAS DE DEMANDA**

- Reducir la IE, reduciendo el consumo de energías primarias. Esto se puede producir con un cambio estructural de la economía hacia actividades de mayor valor añadido.
- Mejorar la eficiencia energética en todos los sectores, intentando que esa mejora se produzca en términos absolutos. Las medidas de gestión de la demanda pueden contribuir especialmente a ello.

- Implementar los cambios estructurales en el sistema de transporte para sustituir la demanda de productos petrolíferos por otras fuentes energéticas: electricidad, gas, renovables, etc.

## **B. POLÍTICAS DE OFERTA**

- Aumentar la producción con recursos autóctonos, especialmente con energías renovables, por los beneficios medioambientales y sociales que generan. Además, se debería ampliar la vida útil de las centrales nucleares para que sigan produciendo electricidad y reducir las importaciones de otros combustibles.
- Continuar con la diversificación de las importaciones de materias primas teniendo en cuenta los niveles de riesgo de los países con los que se establezcan relaciones comerciales.
- Aumentar las interconexiones eléctricas con Francia, lo cual permitiría reducir la vulnerabilidad al incrementar nuestra conectividad con otros sistemas.

## **C. POLÍTICAS TRANSVERSALES**

- Fomentar la I+D+i para el desarrollo de nuevas opciones tecnológicas en el ámbito de la eficiencia energética, las energías renovables, las redes energéticas, etc.
- Favorecer una relación de confianza mutua a largo plazo en materia de política exterior para reducir el riesgo de precio y de interrupción de suministro.
- Transmitir unas señales de precio de la energía adecuadas (incluyendo el coste medioambiental) para incentivar el ahorro energético y el desarrollo de inversiones en tecnologías más eficientes a medio y largo plazo.

## ***7. La eficiencia energética en el sector residencial***

7.1. Introducción.....	222
7.2. Factores determinantes del consumo energético de los hogares .....	224
7.3. Medidas para mejorar la eficiencia energética de los hogares .....	237
7.4. Barreras existentes para materializar el potencial de la eficiencia energética.....	245
7.5. Instrumentos para mejorar la eficiencia energética .	248
7.6. Conclusiones .....	253

## 7.1. Introducción

La eficiencia energética se ha convertido en una prioridad política para el Gobierno español. En los últimos tres años, el Gobierno ha aprobado varios paquetes de medidas para promover la eficiencia y el ahorro energético, pero todavía no se ha publicado ningún informe que verifique los resultados obtenidos y las estadísticas energéticas, que se publican con retraso de dos años, no permiten valorar las acciones emprendidas.

El análisis de la IE en los capítulos anteriores desde diferentes perspectivas ha puesto de manifiesto la importancia del sector residencial si se quiere cambiar la evolución de la IE, reducir la dependencia energética y mitigar el crecimiento de emisiones. A pesar de la importancia de este sector, pocos estudios lo han analizado o lo han incluido en sus análisis cuantitativos. Este es uno de los motivos principales para seleccionar este sector e intentar aportar información y recomendaciones para mejorar su eficiencia de forma más concreta de lo que se ha realizado en los capítulos anteriores.

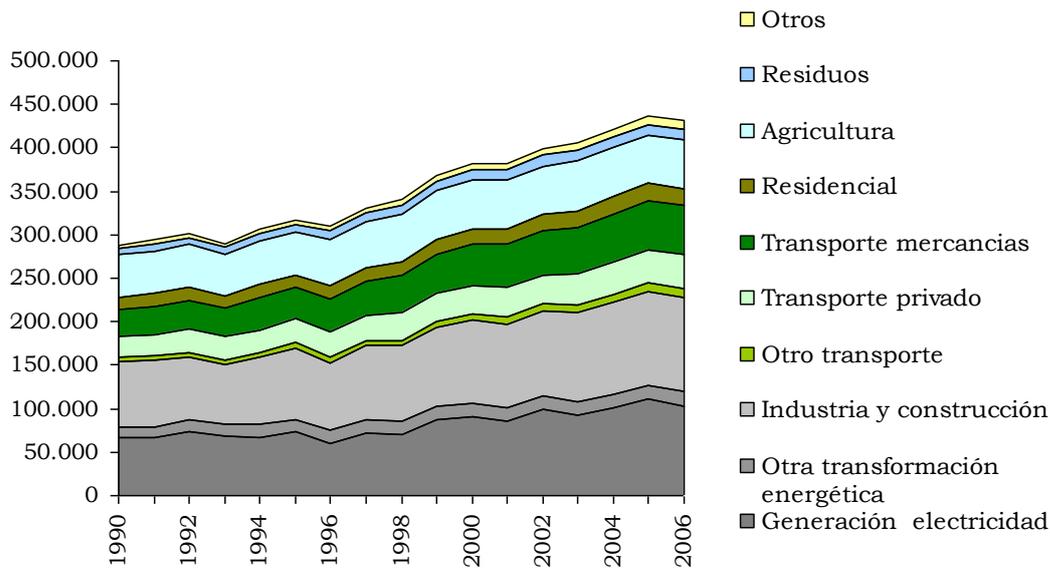
A medida que las naciones se desarrollan, el sector residencial cobra una mayor importancia en el consumo energético. Se ha demostrado en el capítulo 2 como la IE total en la OCDE aumenta ante incrementos del consumo energético de las familias. Algunos autores defienden que en este sector se pueden suceder episodios de desmaterialización hasta llegar a un nivel de saturación, que vienen seguidos de períodos de rematerialización, cuando surgen nuevos usos energéticos.

La IE del sector residencial ha aumentado un 42% entre 1980 y 2006 y ha contribuido con 7,7 tep/M€ al crecimiento de la IE en ese período (12,7 tep/M€). Mientras la IE de la UE15 se ha reducido en los últimos años, aunque es todavía un 20% superior a la de España, fundamentalmente por razones climáticas. Si se tiene en cuenta el consumo energético derivado de las demandas de electricidad de las familias, el sector residencial se convierte en el principal consumidor de energía en España (18% del total) como se ha visto en el gráfico 4.3. Su evolución entre 1995 y 2006 le convierte, después de los minerales no metálicos, en el sector que más influye en la evolución de la IE (tabla 4.7). Un aspecto a tener en cuenta es que son las familias las que impulsan por otro lado una parte importante de la demanda de minerales no metálicos para la construcción de sus viviendas. Por todo ello este sector tiene una importancia vital si se quiere mejorar la IE del país.

Por lo que se refiere a las emisiones de GEI derivadas del consumo de las familias, la Unión Europea presentó en febrero de 2008 el tercer paquete sobre energía y cambio climático, en el que por primera vez se establecen objetivos para reducir las emisiones difusas en 2020. Una de las características de este colectivo es su dispersión. En España hay en torno a 15 millones de hogares y 15 millones de vehículos repartidos en todo el

territorio, de ahí su calificativo de difusos y la dificultad de su contabilización y control. Dentro de las emisiones difusas se incluyen las producidas por las familias en el sector residencial, en sus desplazamientos y en los residuos que generan. El objetivo fijado en el seno de la UE para España es una reducción del 10% de estas emisiones en 2020 con respecto a las del año 2005. Este objetivo es muy ambicioso, si se tiene en cuenta que las emisiones de los hogares han crecido un 37% entre 1990 y 2006 y un 71% en el transporte (gráfico 7.1).

**Gráfico 7.1. Evolución de las emisiones de GEI en España (Mton CO<sub>2</sub> e)**



Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Nacional de Emisiones (MMA, 2008)

Durante el período 2008-2012 este sector no está incluido en el sistema de comercio de emisiones europeo y no tiene objetivos específicos como los que tienen otros sectores energéticos e industriales. Esta falta de control ha motivado que los sectores difusos aumenten sus emisiones considerablemente. Las previsiones más optimistas apuntan a que en 2012 las emisiones superarán en un 65% las de 1990, por lo que el Gobierno deberá comprar derechos de emisión para poder cumplir con los compromisos asumidos en el Protocolo de Kioto (MMA, 2007). Para alcanzar ese objetivo el Gobierno ha puesto en marcha varios paquetes de medidas (Plan de Acción de la Estrategia de Eficiencia Energética 2008-2012, Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, Plan de Rehabilitación energética de edificios horizonte 2009-2011, entre otros). El examen de las tendencias reales hace pensar en la dificultad de alcanzar los objetivos y la magnitud del reto al que nos enfrentamos.

El capítulo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar se realiza un diagnóstico detallado de los principales elementos que influyen en el consumo energético de las familias. En segundo lugar, se presentan las medidas que mejoran la eficiencia energética del sector residencial. En tercer lugar se explican cuáles son las

barreras para la materialización del potencial de eficiencia en los hogares. En cuarto lugar se presentan los principales instrumentos con que cuentan los Gobiernos para mejorar la eficiencia energética de forma efectiva, antes de finalizar con unas conclusiones.

## 7.2. Factores determinantes del consumo energético de los hogares

El cuarto informe del IPCC<sup>52</sup> sostiene que para poder mantener la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) por debajo de 450 partes por millón (ppm) se deberían reducir las emisiones mundiales un 50% en 2050 respecto a. El consumo energético en los hogares puede llegar a representar un porcentaje muy alto del consumo energético de los países y por tanto de sus emisiones, de ahí la importancia de introducir medidas que incentiven un consumo eficiente. A escala mundial la edificación representa la cuarta parte de las emisiones de GEI totales, con 5 Giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (Gt CO<sub>2</sub> e) en 2004, de las cuales 3Gt CO<sub>2</sub> son emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la combustión energética (excluyendo las emisiones del uso de electricidad y calor).<sup>53</sup> Si se añaden las emisiones indirectas que se producen por el consumo de electricidad y calor en los edificios, las emisiones ascienden a más de 8 Gt CO<sub>2</sub> (Levine et al., 2007).

El sector de la edificación puede contribuir sustancialmente al cumplimiento de los objetivos en materia energética y medioambiental, tanto por su elevada participación en el consumo de energía a corto plazo, como por condicionar el consumo energético a largo plazo, puesto que la vida útil de un edificio varía entre los 50 y 100 años. En este sector existe un enorme potencial de ahorro energético, que podría suponer en 2020 una disminución del 29% de sus emisiones, si se aplicasen medidas coste-efectivas (Levine et al., 2007).

Los hogares han aumentado su participación en el consumo energético de los países europeos hasta alcanzar el 18% del total, porcentaje que podría aumentar a medida que las familias incrementan su renta disponible y que los avances tecnológicos mejoran la calidad de vida. No obstante, cuando se analiza la IE del sector residencial (consumo energético de los hogares dividido por el PIB total), se comprueba su reducción drástica en la mayor parte de los países europeos, mientras que crece en los países mediterráneos y España, tal y como se aprecia en el gráfico 7.2. Las condiciones

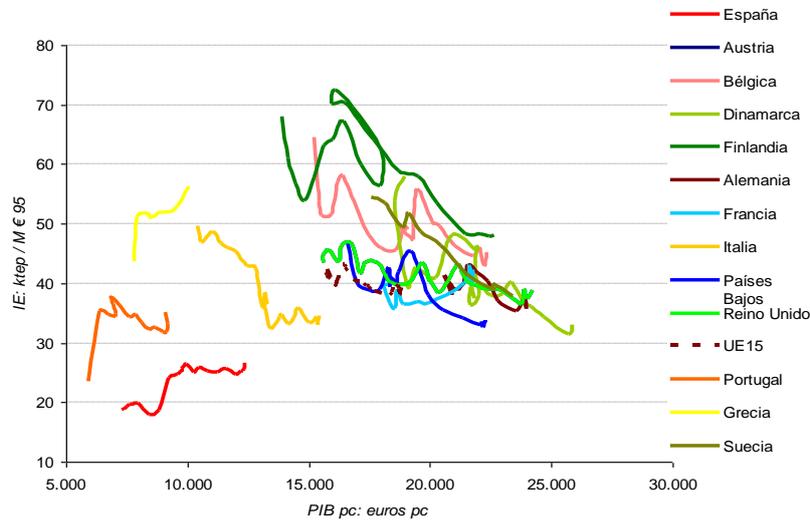
---

<sup>52</sup> El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente a fin de proporcionar un informe internacional escrito por expertos en la materia sobre la comprensión científica del cambio climático.

<sup>53</sup> Los otros gases tienen una aportación más reducida: 0,4 GtCO<sub>2</sub>e de CH<sub>4</sub>, 0,1 GtCO<sub>2</sub>e de N<sub>2</sub>O y 1,5 GtCO<sub>2</sub>e de CFCs y HCFCs.

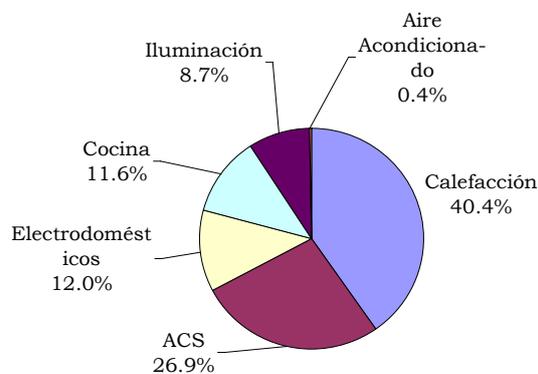
climáticas y un menor desarrollo económico hacen que estos países tengan unas IE más bajas, aunque crecientes, puesto que con el desarrollo aumenta el equipamiento de los hogares.

**Gráfico 7.2. Intensidad energética en el sector residencial.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Balances energéticos de la IEA (IEA, 2008a), IDAE (2005) y EUROSTAT (2009).

**Gráfico 7.3. Consumo energético en los hogares españoles.**



Fuente: Elaboración propia a partir de MITYC (2007)

Dos terceras partes del consumo energético final de una vivienda tipo corresponden a las instalaciones térmicas (calefacción 40%) y agua caliente sanitaria (27%). El tercio restante se utiliza para la iluminación, los electrodomésticos y los equipos electrónicos del hogar (en el gráfico 7.5 se presenta un mayor desglose de estos consumos).<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Cabe señalar que en las estadísticas energéticas no resulta fácil delimitar los consumos atribuibles a las familias de los realizados por pequeñas empresas en el sector terciario, que por su dimensión están acogidas a las tarifas domésticas de gas y electricidad.

El consumo energético de los españoles es significativamente menor que el observado en otros países de la OCDE, debido básicamente a las mejores condiciones climáticas y a una menor renta per cápita (pc). Así, en 2005 cada español fue responsable de 477 Kg. de CO<sub>2</sub> per cápita frente a los 883 Kg. en la OCDE, como se aprecia en la tabla 7.1.

**Tabla 7.1. Desglose del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los hogares en España y en la UE15.**

	Consumo Energía (%)		Emisiones de Energía (%)	
	España	OCDE	España	OCDE
Carbón	1	2	3	4
Gas	21	38	36	62
GLP	11	5	22	8
Gasóleo	17	9	38	19
Otros Prod. Petrolíferos	0	3	1	6
Electricidad y calor	36	35	--	--
Biomasa	13	41	--	--
<b>TOTAL *</b>	<b>15.153</b>	<b>722.798</b>	<b>21</b>	<b>1035</b>
<b>Consumo y emisiones pc</b>	<b>349 tep</b>	<b>617 tep</b>	<b>477 Kg. CO<sub>2</sub></b>	<b>883kg CO<sub>2</sub></b>

*Nota: Consumo en ktep y emisiones en Mton CO<sub>2</sub>*

*Fuente: IEA, 2008a y IEA, 2009a.*

Las opciones para reducir las emisiones en los hogares son un descenso del consumo y la utilización de combustibles más eficientes y de menor contenido de carbono o renovables. Por ejemplo, la combustión del carbón produce 3,9 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada equivalente de petróleo (ton CO<sub>2</sub>/tep), el gasóleo 3 ton CO<sub>2</sub>/tep, el butano 2,6 ton CO<sub>2</sub>/tep, el gas 2,4 ton CO<sub>2</sub>/tep y la electricidad y la biomasa no producen emisiones en el hogar, sino que lo hacen en las centrales de generación eléctrica. Todo ello conduce a que las emisiones medias de CO<sub>2</sub> por cada tep consumido en España asciendan a 1,4 ton CO<sub>2</sub>.

Como se muestra en la tabla 7.1, España compensa la menor utilización del gas con gasóleo y gases licuados del petróleo (butano), debido a la tardía introducción de este combustible en España. El principal consumo energético de los hogares es la electricidad. Las emisiones generadas para suministrar esa electricidad no se imputan a los hogares sino a las centrales de generación. Si se calculan las emisiones per cápita del consumo de los hogares incluyendo las que, a causa del consumo eléctrico, se emiten en promedio en las centrales, cada español emite 1.109 kg de CO<sub>2</sub> per cápita frente a los 2.241 kg de CO<sub>2</sub> de media en la OCDE.

El consumo de electricidad en España ha aumentado un 82% entre 1995 y 2006, tendencia que se ha visto favorecida por unos precios de la electricidad que se han

reducido y que se sitúan entre los más bajos de Europa (tabla 7.2). A pesar del crecimiento del consumo energético en los hogares, en 2006 tan sólo se destinó un 2,2% del presupuesto familiar a las necesidades energéticas del hogar, frente al 3,8% de la UE15.<sup>55</sup>

**Tabla 7.2. Comparación de precios de gas y electricidad en la UE15.**

Electricidad	Céntimos de euro por kWh			Crecimientos			Gas	Euro por GJ			Crecimientos		
	1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05		1995	2000	2005	95-00	00-05	95-05
Bélgica	12,31	11,71	11,16	-5%	-5%	-9%	Bélgica	6,91	7,44	8,85	8%	19%	28%
Dinamarca	6,08	7,18	9,27	18%	29%	52%	Dinamarca		8,95	12,58		41%	
Alemania	12,98	11,91	13,34	-8%	12%	3%	Alemania	7,19	6,93	10,16	-4%	47%	41%
Grecia	6,47	5,64	6,37	-13%	13%	-2%	Grecia			3,92			
España	10,56	8,95	9	-15%	1%	-15%	España	8,65	9,15	10,25	6%	12%	18%
Francia	10,06	9,28	9,05	-8%	-2%	-10%	Francia	7,22	6,99	9	-3%	29%	25%
Italia	15,09	15	14,4	-1%	-4%	-5%	Italia	7,86	8,79	8,98	12%	2%	14%
Luxemburgo	10,67	10,56	12,88	-1%	22%	21%	Luxwmbu	5,14	5,68	7,68	11%	35%	49%
Países Bajos	8,46	9,38	11,02	11%	17%	30%	Países Bz	6	5,62	9,64	-6%	72%	61%
Austria		9,49	9,64		2%		Austria		7,8	8,91		14%	
Portugal	12,57	11,94	13,13	-5%	10%	4%	Portugal			11,75			
Finlandia	7,03	6,45	7,92	-8%	23%	13%	Finlandia	5,14					
Suecia		6,37	8,46		33%		Suecia		7,63	11,72		54%	
Reino Unido	9,46	10,56	10,15	12%	-4%	7%	Reino Un	5,95	6,65	6,46	12%	-3%	9%
EU 15	11,02	10,31	10,74	-6%	4%	-3%	EU 15	6,85	7,24	8,8	6%	22%	28%

Fuente: EUROSTAT, 2005.

Se analizan a continuación algunos de los factores que más influyen en la demanda energética y en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los hogares, que incluyen el clima, la renta per cápita, la evolución demográfica, la eficiencia energética de la edificación, el tipo de electrodomésticos y los aspectos socio culturales.

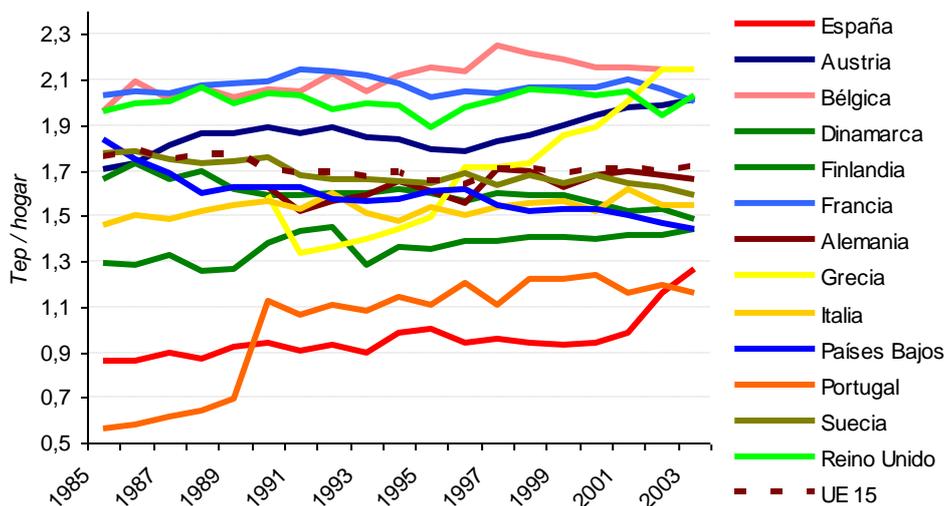
## 7.2.1. Clima

El clima influye en el nivel de partida del consumo energético de los hogares y su variación afecta a la evolución anual del consumo en los países, especialmente en los países nórdicos, donde el clima condiciona las necesidades de calefacción y por tanto tiene una influencia significativa en el consumo energético de los hogares (gráfico 7.42). Así las necesidades de calefacción pueden variar entre el 70% del consumo de los hogares en Alemania y el 30% en Portugal. El clima también afecta al uso de aire acondicionado en los países mediterráneos, aunque al ser un consumo estacional e incluido como consumo eléctrico su porcentaje no parece ser significativo todavía. Si todos los países estuviesen sometidos a las mismas condiciones climáticas, como se presenta en el gráfico 7.4, las distancias entre el consumo energético por hogar entre países se reducirían y la diferencia reflejaría el mayor consumo energético que se produce por los mayores niveles de renta, las diferencias en el nivel de eficiencia energética de los equipamientos, el nivel de ocupación de los hogares, etc. En el caso español se consume menos que la media, ajustada por clima, de los países europeos,

<sup>55</sup> Según datos de consumo de los hogares (Final consumption expenditure of households by consumption purpose - COICOP 3 digit - aggregates at current prices) publicados por Eurostat (2008)

porque en los países más cálidos los edificios están a veces insuficientemente calentados o simplemente no calentados y por el mayor nivel de ocupación de los hogares, el tipo de vivienda (pisos en vez de unifamiliares) y el menor nivel de equipamiento doméstico, entre otros factores.

**Gráfico 7.4. Consumo energético de los hogares ajustados al clima europeo medio.**



Fuente: IDAE 2006.

## 7.2.2. Aumento de la renta per cápita y población

Desde el año 2000 la población española ha crecido a una tasa del 2,1% anual, los hogares lo han hecho al 2,9% y el consumo corregido por las variaciones climáticas lo ha hecho en un 3%. Se podría concluir que el crecimiento del consumo energético se ha producido en parte por el aumento de los hogares, derivado del incremento de la población y los cambios socioculturales.

El consumo energético del sector residencial depende del número de viviendas habitadas (si son viviendas principales o segundas residencias), su superficie y su nivel de ocupación. Dos de los factores que han influido en el incremento de la demanda de viviendas principales han sido al aumento de la renta per cápita (un 23% entre 1996 y 2006) y de la población española (un 11,5% en ese mismo período). El aumento de renta y los cambios en la estructura poblacional han provocado cambios en el tipo de vivienda demandada. Los españoles han podido adquirir viviendas más grandes y han mejorado sus niveles de confort (por ejemplo, con electrodomésticos con más funciones o una mayor temperatura en los hogares) gracias al aumento de la renta disponible. En Europa las viviendas individuales tienen una superficie media útil de 90 m<sup>2</sup> y creciente, puesto que la superficie media ha aumentado en 0,5 m<sup>2</sup> por año (ADEME, 2005: 78). En España, la superficie media de las viviendas principales es de 93

m<sup>2</sup> (según los datos más recientes de 2001) y los m<sup>2</sup> por persona han crecido un 12% desde los setenta (tabla 7.3), al tiempo que se ha reducido un 22% el nivel de ocupación, sobre todo desde 1996.

Desde la publicación del Censo de Viviendas de 2001 se ha producido un importante crecimiento del número de segundas residencias y su demanda supera con creces la de las viviendas principales (4 millones frente a 1 millón de incremento entre 2001 y 2005). Esto es así por el aumento de la renta de los españoles, el envejecimiento de la población europea que prefiere mantener el mismo destino vacacional<sup>56</sup> y la estabilidad de la economía española en el período analizado (en el año 2008 y 2009 la crisis económica está modificando estas tendencias). Estos dos últimos factores han propiciado un mayor interés de los agentes extranjeros en las viviendas en el país. Por otro lado, la proliferación de segundas residencias ha generado un aumento de la movilidad no cotidiana, como se comentará en el capítulo siguiente.

**Tabla 7.3. Evolución del parque de viviendas en España**

	Vivienda Principal				Nº Viviendas Secundarias	TOTAL
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> por persona	Persona vivienda	Nº Viviendas Principales		
Antes 1941	100,95	43,75	2,31	343.967	475.052	819.019
1941-1960	94,1	41,28	2,28	839.959	394.498	1.234.457
1961-1970	86,41	34,92	2,47	1.380.936	457.103	1.838.039
1971-1980	90,86	31,09	2,92	2.682.604	866.031	3.548.635
1981-1990	96,37	30	3,21	2.971.278	611.297	3.582.575
1991-1995	97,06	31,23	3,11	1.710.175	208.498	1.918.673
1996	94,69	32,24	2,94	509.339	46.304	555.643
1997	93,66	32,49	2,88	568.749	45.216	613.965
1998	93,2	33,36	2,79	709.152	52.325	761.477
1999	92,59	34	2,72	831.360	61.733	893.093
2000	92,88	33,82	2,75	752.651	67.046	819.697
2001	90,84	34,68	2,62	883.856	75.528	959.384
<b>TOTAL CENSO 2001</b>	<b>93,34</b>	<b>32,62</b>	<b>2,86</b>	<b>14.184.026</b>	<b>3.012.479</b>	<b>17.196.505</b>
<b>2005*</b>	<b>n.a</b>	<b>n.a</b>	<b>n.a</b>	<b>15.884.170</b>	<b>7.325.672</b>	<b>23.209.842</b>

Fuente: Censos de Población y Vivienda 2001 (INE, 2002) y datos del Ministerio de vivienda para 2005 (MITYC, 2007).

### 7.2.3. Edificación

Los datos del crecimiento del consumo energético de los hogares muestran que no se ha conseguido el desacoplamiento de la renta y el consumo energético y que las mejoras de eficiencia en las viviendas, si las ha habido, no han compensado el crecimiento de la demanda.

<sup>56</sup> En la actualidad se estima que existen 2 millones de familias que residen temporalmente en una vivienda secundaria en España (BBVA, 2006).

La forma en la que se construyen las viviendas tiene una enorme influencia en el consumo energético del hogar a largo plazo. El parque de viviendas español (tabla 7.3) es relativamente joven con un 45% de las viviendas con menos de 10 años y un 70% con menos de treinta años (INE, 2002). Tan solo entre 1996 y 2005 se han construido 10,6 millones de viviendas, mucho más que en cualquier otro período en el tiempo. En Europa los edificios construidos en 2003 eran un 25% más eficientes que los edificados antes de 1990, aunque el impacto de los códigos de edificación es todavía limitado (ADEME, 2005). Sin embargo, en España, el nuevo código de edificación entró en vigor en el año 2007, justamente cuando el mercado constructor presentaba síntomas de ralentización, y no ha influido a las viviendas construidas durante el “boom de la construcción”.

En la eficiencia energética de las edificaciones los factores que influyen son la ingeniería y diseño del edificio, los materiales utilizados, el funcionamiento del edificio y sus sistemas energéticos.

### **A. DISEÑO**

Antes de llegar a la etapa de diseño del edificio, en el diseño urbanístico del espacio se pueden introducir medidas con un fuerte impacto sobre el comportamiento de los futuros edificios, al fijar gran parte de las condiciones de contorno a las que estarán sometidos (Pérez Arriaga et al., 2007).

En la fase de diseño de los edificios los factores que condicionarán las necesidades energéticas para calefacción y climatización son la forma, el volumen y la orientación, así como la envolvente del edificio, esto es, el aislamiento térmico y los cerramientos en fachadas, ventanas, cubiertas y suelo.

En la actualidad se dispone de capacidad de cálculo suficiente para simular correctamente el efecto de las distintas variables de diseño sobre el comportamiento energético del edificio y sus sistemas. Sin embargo, un análisis correcto requiere un nivel de especialización considerablemente elevado, y en España no existe tradición de incorporarlo en el proceso de diseño.

### **B. MATERIALES UTILIZADOS**

Cada material empleado en la construcción de un edificio puede tener importantes repercusiones tanto energéticas (energía para la operación y energía enterrada), como en términos de calidad del ambiente y de impacto sobre el entorno durante su fabricación, puesta en obra o al final de la vida útil del edificio. No obstante, en general estos aspectos no se tienen en cuenta.

### **C. FUNCIONAMIENTO DEL EDIFICIO**

La operación del edificio permite mejorar los consumos energéticos del mismo adaptando la calefacción e iluminación a las condiciones ambientales exteriores y requerimientos de los usuarios (horario de funcionamiento, número de ocupantes, condiciones climáticas, hábitos de higiene y condiciones de confort interior, etc.)

#### **D. SISTEMAS ENERGÉTICOS UTILIZADOS**

Los sistemas energéticos del edificio son responsables de cubrir aquella parte de la demanda energética que no haya sido cubierta por la interacción del edificio con el entorno. Tradicionalmente, los sistemas energéticos se diseñan de forma independiente de la respuesta térmica del edificio, para cubrir completamente los requerimientos de confort. Esto conduce a sistemas de climatización sobredimensionados que no se acoplan al funcionamiento del edificio, con lo que alcanzan rendimientos estacionales considerablemente menores de los previstos. Existe un gran potencial de mejora de la eficiencia energética de los sistemas energéticos al integrarlos con la respuesta térmica del edificio (Pérez Arriaga et al., 2007).

Los sistemas energéticos para calefacción son el principal consumo energético de los hogares. La energía necesaria para calentar un m<sup>2</sup> depende de la eficiencia del equipamiento, esto es, la eficiencia en la conversión de energía final en calor y la eficiencia de los combustibles utilizados (en cuyo caso la eficiencia se mide por su poder calorífico). La demanda de calor por superficie está condicionada por el diseño del edificio. Finalmente la demanda energética crece con el aumento del número de viviendas y de su superficie media<sup>57</sup>, así como por el descenso del nivel de ocupación.

En la tabla 7.4 se muestra la comparación de las emisiones de los distintos sistemas de calefacción convencionales. El gas es el sistema más eficiente de generación de calor en términos energéticos, en las calderas de condensación (100%), convencionales colectivas (88%) y convencionales individuales (82%). Aunque la electricidad muestra una eficiencia del 100% se debe recordar que las pérdidas de eficiencia se han producido en el sector de transformación energética y en su transporte y distribución, por lo que la eficiencia en términos energéticos se sitúa en torno al 40%. El carbón es una opción restringida en las grandes ciudades. Frente a estos sistemas convencionales, la cogeneración es, de todas las alternativas de aprovisionamiento energético, la más racional, tanto desde el punto de vista de eficiencia energética, como desde la perspectiva medioambiental de reducción de las emisiones contaminantes. Sin embargo su penetración en el sector residencial español es prácticamente inexistente.

---

<sup>57</sup> En teoría debería valorarse el volumen pero ante la indisponibilidad de datos de este tipo se utilizan los de superficie.

Tabla 7.4. Sistemas de calefacción en edificios con sistemas convencionales

Energía	Factores de emisión (g/kWh útil final)						
	$\eta$ (%)	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV's	CO	N <sub>2</sub> O
<b>Tecnología : Calderas</b>							
<b>Carbón (Inst. colectiva )</b>	<b>75</b>	<b>496</b>	<b>6,536</b>	<b>0,826</b>	<b>0,370</b>	<b>0,533</b>	<b>0,095</b>
<b>Gasóleo (Inst. individual )</b>	<b>75</b>	<b>409</b>	<b>1,032</b>	<b>0,585</b>	<b>0,129</b>	<b>0,249</b>	<b>0,075</b>
<b>Gasóleo (Inst. colectiva )</b>	<b>80</b>	<b>383</b>	<b>0,980</b>	<b>0,525</b>	<b>1,238</b>	<b>0,074</b>	<b>0,075</b>
<b>Gas Natural (Inst. individual )</b>	<b>82</b>	<b>280</b>	<b>0,009</b>	<b>0,346</b>	<b>0,051</b>	<b>0,056</b>	<b>0,018</b>
<b>Caldera convencional Gas Natural (Inst. colectiva )</b>	<b>88</b>	<b>261</b>	<b>0,008</b>	<b>0,323</b>	<b>-</b>	<b>0,052</b>	<b>0,016</b>
<b>Caldera alta eficiencia Gas Natural Caldera condensación</b>	<b>100</b>	<b>227</b>	<b>0,007</b>	<b>0,290</b>	<b>-</b>	<b>0,047</b>	<b>0,015</b>
<b>Tecnología : Conversión directa electricidad a calor</b>							
<b>Electricidad</b>	<b>100</b>	<b>551</b>	<b>2,590</b>	<b>1,140</b>	<b>0,084</b>	<b>0,131</b>	<b>0,280</b>

Nota: los factores de emisión de la electricidad se calculan para la media del parque de generación en España-

Fuente: Sedigas, 2007.

Las estadísticas más recientes muestran que los hogares españoles no usan los sistemas de calefacción más eficientes. En su conjunto, las viviendas principales españolas utilizan mayoritariamente los sistemas de calefacción individual (39% del total) frente a los colectivos (9%), mientras que una parte muy importante de los hogares utilizan sistemas ineficientes (38% emplea calefactores) y un 15% no dispone de calefacción. La baja popularidad de los sistemas colectivos en España se debe al clima más benigno y a la ausencia de contadores individuales por vivienda. Esto último provoca cierto derroche de energía, puesto que a veces se calientan superficies desocupadas y los usuarios no pueden gestionar individual y eficientemente su demanda de calor.

Tabla 7.5. Viviendas principales en España según tipo de calefacción por combustible utilizado.

	Colectiva	Individual	Calefactores	Nada	TOTAL
Gas	436.546	3.008.857	1.263.317	0	4.708.720
Electricidad	49.906	1.085.537	3.352.637	0	4.488.080
Prod. Petrolíferos	756.129	1.125.112	108.968	0	1.990.209
Madera	9.202	95.468	253.858	0	358.528
Carbón	77.272	140.047	316.447	0	533.766
Otros	9.464	12.977	24.518	0	46.959
No es aplicable	0	0	0	2.057.764	2.057.764
<b>TOTAL</b>	<b>1.338.519</b>	<b>5.467.998</b>	<b>5.319.745</b>	<b>2.057.764</b>	<b>14.184.026</b>

Fuente: Censos de Población y Vivienda 2001 (INE, 2002).

No obstante, cuando las necesidades de calefacción aumentan se tiende a utilizar sistemas más eficientes. Éste es el caso de las viviendas ubicadas en zonas climatológicas frías, como Navarra, con un 28% de los sistemas de calefacción colectivos. En el extremo contrario, abundan las viviendas ubicadas en lugares costeros o insulares que no tienen sistemas de calefacción, como sucede en Canarias, donde un 90% de las viviendas no dispone de calefacción (tabla 7.6).

**Tabla 7.6. Viviendas principales con sistemas colectivos de calefacción y sin calefacción (% sobre el total de las viviendas)**

	C. Colectiva	C. Individual	Calefactores	Sin calefacción	TOTAL	Superficie m <sup>2</sup>
Andalucía	2%	12%	63%	22%	2.415.143	93
Aragón	25%	51%	20%	4%	443.205	91
Asturias	13%	54%	23%	10%	389.310	82
Baleares	2%	25%	60%	13%	305.431	106
Canarias	0%	2%	8%	90%	552.351	94
Cantabria	6%	52%	33%	9%	182.645	91
Castilla y León	20%	58%	15%	8%	889.197	94
Castilla-La Mancha	11%	54%	24%	11%	610.227	104
Cataluña	4%	53%	35%	8%	2.315.774	90
C.Valenciana	2%	22%	65%	11%	1.492.744	100
Extremadura	3%	18%	58%	21%	366.893	97
Galicia	11%	40%	28%	22%	900.376	98
Madrid	24%	59%	15%	2%	1.873.671	88
Murcia	2%	19%	62%	17%	378.211	99
Navarra	28%	59%	9%	3%	188.730	99
País Vasco	14%	51%	31%	3%	741.399	85
Rioja	24%	59%	13%	4%	101.439	93
Ceuta	1%	3%	35%	61%	19.397	75
Melilla	0%	7%	27%	65%	17.883	83
<b>TOTAL</b>	<b>9%</b>	<b>39%</b>	<b>38%</b>	<b>15%</b>	<b>14.184.026</b>	<b>93</b>

Fuente: Censos de Población y Vivienda 2001 (INE, 2002).

El tamaño de la vivienda influye en la elección del equipamiento y del combustible. Las viviendas pequeñas (de menos de 30 m<sup>2</sup>) recurren a calefactores eléctricos (70% de las viviendas) y a la electricidad (56% de los casos). Por su parte, las viviendas medianas (entre 30 y 75 m<sup>2</sup>) utilizan calefacción individual y preferiblemente gas. Por último, las viviendas grandes (de más de 75 m<sup>2</sup>) eligen el gasóleo, probablemente por su coste más reducido y cuando no se dispone de gas en su municipio.

#### 7.2.4. Electrodomésticos

El consumo energético de los electrodomésticos no es proporcionalmente el más significativo, como se ha mostrado en el gráfico 7.3, pero es el que mantiene un ritmo de crecimiento mayor, puesto que otros consumos como la calefacción pueden alcanzar un nivel de saturación, mientras que la aparición de nuevos

electrodomésticos y aparatos electrónicos genera nuevas demandas. Por ello es importante asegurar los más altos niveles de eficiencia de estos nuevos aparatos.

Las tendencias indican que en Europa los consumos de electricidad de los aparatos eléctricos (lavadoras, lavaplatos, frigoríficos, secadoras, etc.) se han reducido por el incremento de la eficiencia, pero esta reducción ha sido compensada por la compra de electrodomésticos antes considerados de lujo y ahora asequibles para la mayoría de los europeos, como el aire acondicionado y las secadoras (ADEME, 2005: 83). Todavía queda bastante potencial de actuación en este sector, tal y como pone de manifiesto la Agencia Internacional de la Energía, que ha calculado que entre el 3 y el 13% de la electricidad consumida en los hogares tiene su origen en los electrodomésticos en el modo “stand by”<sup>58</sup> (IEA, 2001).

**Tabla 7.7. Equipamiento de los hogares españoles**

<b>Penetración de equipamientos</b>	
	<b>% hogares</b>
Frigorífico	99,7
Televisión*	99,4
Cocina eléctrica	34,9
Cocina no eléctrica	58,1
Cocina mixta	10,6
Lavadora*	99
Microondas*	n.a
Lavavajillas	32,6
Aire acondicionado	26,7
Congelador	31,4
Ordenador*	58
Hi-Fi	64,4
Video	75,5

*Nota: datos de 2004 excepto para \* que son de 2007.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de MITYC (2007) y Repsol (2009).*

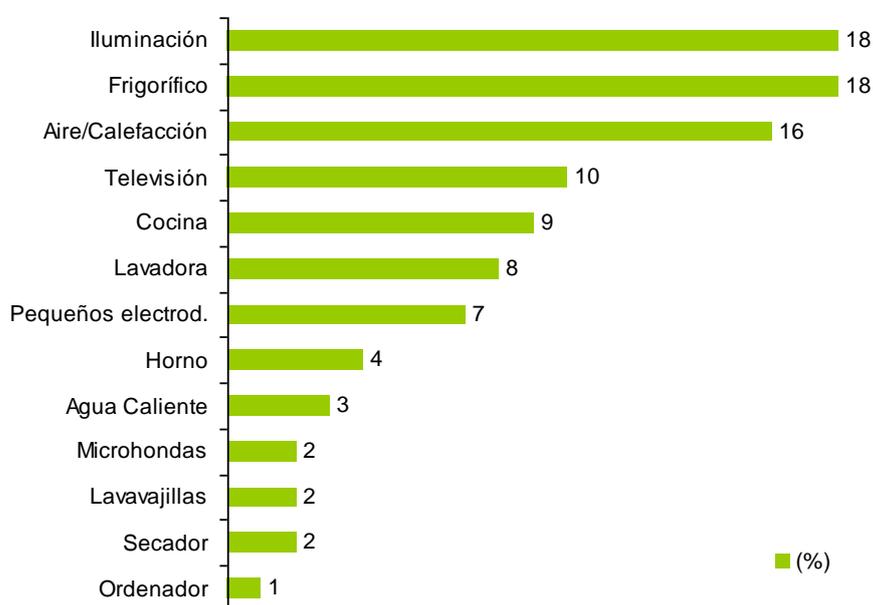
El consumo medio por hogar de los aparatos eléctricos en España está creciendo por encima de la media europea. Esto se produce, en primer lugar, por factores económicos - el incremento de los ingresos familiares, los bajos precios de los aparatos, el reducido porcentaje del coste energético en los presupuestos familiares- y porque se converge hacia niveles de penetración europeos (tabla 7.7). En segundo lugar, los avances tecnológicos han generado una variada oferta de equipos electrónicos. Finalmente, las preferencias, gustos y las necesidades de los consumidores han cambiado considerablemente en España en los últimos años con la

<sup>58</sup> Se denomina modo stand by al consumo en espera de diferentes aparatos electrónicos, tales como televisión, reproductores de audio o vídeo, aire acondicionado, PC, etc. En stand by, el aparato se encuentra conectado, a la espera de recibir órdenes, por lo que consume energía eléctrica. Por ejemplo, un video consume 19 veces más electricidad en el modo stand by que en su uso de grabación o de proyección, cuando se tiene en cuenta el tiempo total transcurrido en cada modo.

incorporación de la mujer al mundo laboral y el menor tiempo disponible para la realización de tareas domésticas. La consecuencia de estos cambios sociales es que se da prioridad a equipos rápidos de altas prestaciones<sup>59</sup> y a compras más cuantiosas y menos frecuentes en centros comerciales, por lo que se necesita una mayor capacidad en frigoríficos y congeladores.

Los principales consumos de electricidad en los hogares son la iluminación, el frigorífico y la climatización. De ahí la importancia de algunas medidas aprobadas por el Gobierno de sustitución de bombillas incandescentes y el Plan Renove de Electrodomésticos, que se comentarán más adelante.

**Gráfico 7.5. Consumo de electricidad en un hogar típico español**



*Fuente: Elaboración propia a partir de Repsol (2009).*

### 7.2.5. Aspectos socioculturales

En los últimos 50 años se ha producido un cambio radical en los patrones de consumo de los hogares españoles, debido a cambios sociales, culturales, políticos y económicos como son la globalización y la consiguiente apertura de mercados, la individualización y los hogares monoparentales, las nuevas tecnologías, el marketing y la publicidad, las viviendas más pequeñas, el envejecimiento de la población, etc. Estos nuevos patrones de consumo tienen un efecto directo e indirecto en las emisiones de las familias, que a menudo no se tiene en cuenta.

<sup>59</sup> Por ejemplo, las lavadoras son de mayor capacidad y a veces incluyen la utilidad de la secadora, actividad que antes se hacía de forma natural a coste energético nulo.

Las familias condicionan el consumo energético total y el impacto medioambiental con sus decisiones diarias sobre qué productos y servicios compran y cómo los usan y sus decisiones vitales de dónde y cómo se trabaja y en qué se utiliza el tiempo libre, tal y como se muestra en la tabla 7.8. Esta elección está construida por una serie de límites creados por los desarrollos históricos y las políticas del pasado, como puede ser la planificación urbanística, la infraestructura de transporte y la disponibilidad de viviendas. Las consecuencias de estas decisiones van más allá de las fronteras nacionales puesto que la globalización de los mercados hace que los procesos de producción se repartan por todo el mundo.<sup>60</sup>

**Tabla 7.8. Opciones medioambientales en los hogares.**

<b>Familia de 4 personas</b>	<b>toneladas CO<sub>2</sub> / año</b>	<b>Familia de 4 personas</b>	<b>toneladas CO<sub>2</sub> / año</b>
Vivienda individual con calefacción de gasóleo	2,57	Vivienda adosada	1,57
+aire acondicionado	0,04	Con bomba de calor	-0,59
+piscina climatizada	1,48	Con aislamiento y doble acristalamiento	-0,22
		Con iluminación eficiente	-0,09
		Utiliza electrodomésticos Clase A*	-0,11
		Ajusta el termostato	-0,04
		Apaga luces y aparatos	-0,06
		Instala paneles solares (electricidad y ACS)	-0,26
Conduce dos coches		Conduce un coche	
Vehículo (24.000 km)	1,42	Hibrido (8.000 km)	0,23
Vehículo (16.000 km)	0,78		
Viajes avión		Viajes avión	
15 trayectos cortos	0,73	8 trayectos cortos	0,32
8 trayectos largos	2,38	Residuos	0,25
Residuos	0,25	Recicla	-0,15
<b>TOTAL</b>	<b>9,65</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,85</b>

Fuente: WBCSD, 2007.

Los aspectos socioculturales influyen en el consumo energético, pero su impacto es difícilmente medible. Por un lado, la educación condiciona vía renta la opción energética en el hogar. Por ejemplo, en los hogares donde el cabeza de familia no tiene estudios el peso del consumo en electricidad y gas es más bajo. Por otro lado, la concienciación respecto al ahorro energético está influida por la evolución de los países desde valores materialistas (lo importante es la cantidad) a los postmaterialistas (priman más la calidad que la cantidad). En algunos países el concepto de ahorro energético está asociado a pobreza, mientras que en otros se asocia a progreso. Además, este concepto se percibe de forma diferente entre generaciones, por ejemplo en aquellas que han vivido situaciones de extrema carestía. Igualmente, es distinta la percepción que se tiene de la energía en el trabajo, ocio, industria u hogar (Pérez Arriaga et al., 2005).

<sup>60</sup> Por ejemplo, el 65% de las emisiones del consumo de los noruegos se producen en otros países (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2005: 13)

Un estudio reciente de la Fundación Repsol (REPSOL, 2009) analiza la percepción social de la eficiencia y concluye que los ciudadanos relacionan el consumo de energía con aspectos como “bienestar y confort”, “imprescindible y necesario”, “gasto y factura”, alejándose de conceptos macroeconómicos como la dependencia energética o la seguridad de suministro.

La encuesta realizada para el estudio concluye que el coste de la energía está asociado a una fuerte carga emocional negativa, que se traduce en sentimientos y expresiones de molestia, enfado y malestar, que se dirigen, generalizadamente, contra las compañías energéticas y el Gobierno pero, también, contra la propia familia e incluso contra uno mismo. Esto se debe a vincular el coste al “despilfarro”. Para los encuestados, lo importante no es “gastar”, sino despilfarrar, esto es, hacerlo en aquello que no se necesita y que no genera un bienestar real para la familia, y es por tanto un gasto absurdo e injustificable. La cuestión es que el “ahorro energético” se concibe como una reducción del consumo de energía en el hogar, excluyendo así otros aspectos como la compra de vivienda, la elección de una caldera más eficiente, la elección de electrodomésticos, etc. La realidad demuestra que no se podrá mejorar la eficiencia sin cambiar la base estructural (edificio y equipamientos) que hace que los hogares sean menos eficientes.

## **7.3. Medidas para mejorar la eficiencia energética de los hogares**

Tras este diagnóstico se deduce que las medidas para reducir el consumo energético de las familias se deben enfocar principalmente en cuatro áreas: la mejora de eficiencia en los sistemas de climatización, la mejora de la eficiencia de las edificaciones, la gestión de la demanda de electricidad (para iluminación y electrodomésticos) y los cambios de comportamiento.

### **7.3.1. Mejora de climatización**

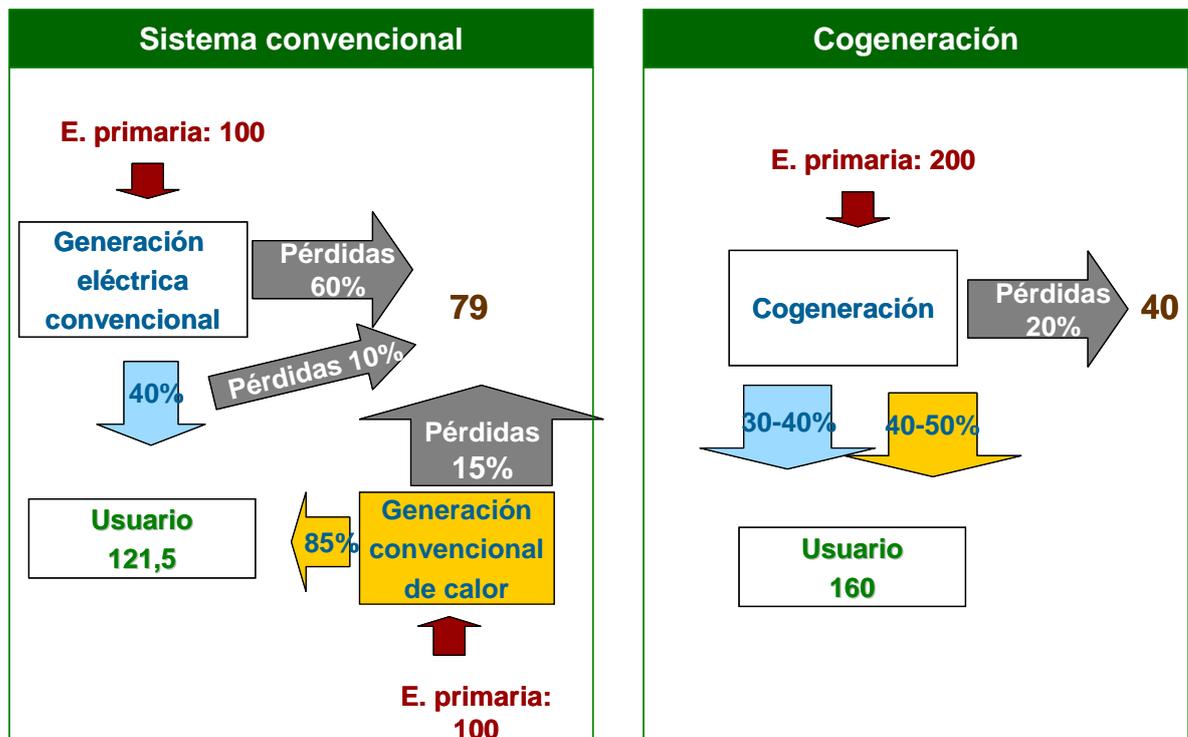
En la actualidad muchas tecnologías permiten reducir el consumo energético de edificios, tanto en calefacción como en aire acondicionado, como son las mejores cubiertas térmicas, el perfeccionamiento de los métodos de diseño y de operación en edificios, y los equipos más eficaces.

En el caso español, la mejora del aislamiento y la distribución de calor no tienen tanto potencial de reducción del consumo energético como en otros países en latitudes más frías, por lo que los períodos de retorno de la inversión se alargan. Además, la amplia

variabilidad climática regional no permite generalizaciones ni soluciones únicas puesto que las técnicas de diseño pasivo se ajustan al clima.

No obstante existe todavía margen para la mejora de los sistemas de calefacción, puesto que, como se ha visto en el apartado anterior, los hogares no eligen los sistemas más eficientes para calefacción. Además, un mayor apoyo a la cogeneración para producción simultánea de calor y electricidad “in situ” supone un importante ahorro de energía primaria frente a los sistemas convencionales debido al aprovechamiento conjunto que esta tecnología permite de ambas energías. El menor consumo de energía para la producción de electricidad unido al uso de combustibles menos contaminantes lleva consigo una importante disminución de las emisiones. Tal y como se muestra en el cuadro 7.1, la cogeneración es 20 puntos porcentuales más eficiente que los sistemas convencionales de calefacción (con una eficiencia del 80% frente al 60% de la calefacción tradicional).

**Cuadro 7.1. Comparación entre sistema convencional y cogeneración.**



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

La elección del sistema de calefacción está influida por la zona climática donde se ubica la vivienda. Por ejemplo, en el norte de Europa se instalan sistemas de distribución de calor (*district heating*) o sistemas de calefacción centralizados (calefacción central e individual con caldera) en un 80% de los casos, con un incremento de 10 puntos porcentuales en los últimos años.

Además, existe un gran potencial para integrar energías renovables en los edificios, en forma de colectores solares térmicos para producción de ACS, calefacción y refrigeración, módulos fotovoltaicos para generación eléctrica, y sistemas de cogeneración/ trigeneración basados en biomasa (y posiblemente combinados con solar térmica). La integración de las renovables en los edificios tiene el potencial de cubrir la demanda energética del edificio en su totalidad e incluso en convertirlo en exportador de energía. No obstante, todavía deben abarataarse algunas tecnologías para poder materializarse.

Por otro lado, es un momento óptimo para el perfeccionamiento de los sistemas de climatización mediante técnicas de refrigeración natural pasiva, que evitan ganancias de calor del exterior y potencian la disipación de calor del edificio, así como mejoras en los equipos de aire acondicionado, que tienen todavía una baja penetración en los hogares españoles.

En el apartado 7.4 se abordará la cuestión de cuales son los instrumentos regulatorios más apropiados para realizar las necesarias reformas y mejoras en los sistemas energéticos. Sirva de apunte inicial que una señal de precios correcta es probablemente el instrumento más adecuado para incentivar un consumo racional, aunque se debe complementar por unos estándares más estrictos para los sistemas de calefacción y los aparatos de aire acondicionado. Ambas medidas contribuirán al cambio de los componentes estructurales. Por otro lado, una correcta información para las familias sobre dónde realizan más consumos y dónde es más costo-efectivo ahorrar tendrá beneficios adicionales para que las familias actúen de forma racional sin perder calidad de vida.

### **7.3.2. Eficiencia energética de las edificaciones**

Los códigos técnicos de edificación son un instrumento de “regulación y mando” eficaz para incluir criterios de eficiencia energética en el diseño de las edificaciones, puesto que en general ni arquitectos ni promotores tienen en cuenta estos aspectos, porque pueden encarecer los costes de la construcción de viviendas. Por ejemplo, en los nuevos edificios individuales es posible alcanzar un 75% de ahorro de energía con respecto a las prácticas actuales, y además con costes adicionales bajos o nulos (Levine et al., 2007). Para ello se necesita un proceso de diseño integrado que incluya arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes, considerando la totalidad de las posibilidades para reducir las demandas energéticas en los edificios.

La Unión Europea aprobó varias Directivas<sup>61</sup> que obligan a los Estados miembros a fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y para

---

<sup>61</sup> Directiva 1993/76/CEE y posteriormente la Directiva 2002/91/CE.

grandes edificios existentes que se reformen. Estas Directivas se han trasladado a la legislación española con la aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE)<sup>62</sup> en marzo de 2006 (REAL DECRETO 314/2006) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en julio de 2007 (REAL DECRETO 1027/2007). En el CTE se exige que los nuevos edificios, así como aquellos que sufran una reforma importante, introduzcan medidas de eficiencia energética para ahorrar energía, tanto en el proyecto constructivo como en el uso de las instalaciones. Se pretende un uso racional de la energía y que una parte del consumo proceda de fuentes de energía renovable con cuatro exigencias energéticas básicas: limitación de la demanda energética a través del aislamiento, estableciendo valores límite para los cerramientos de los edificios (fachadas, vidrios, cubiertas, etc.); eficiencia energética de las instalaciones de iluminación (con sistemas de control y regulación que optimicen el aprovechamiento de la luz natural); establecimiento de una contribución térmica solar para el agua caliente sanitaria entre un 30% y un 70% del volumen diario previsto de demanda; y la contribución de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos en los nuevos edificios del sector terciario. Estas medidas reducirán los consumos de calefacción en un 37% en las viviendas unifamiliares y un 21% en los bloques de viviendas, con un incremento del coste de la vivienda de 21,44 €/m<sup>2</sup> en las primeras y de 14,72 €/m<sup>2</sup> en las segundas (MVIV, 2006).

El retraso en la aprobación del nuevo CTE y su entrada en vigor en el año 2007, justamente cuando el mercado constructor comenzaba a presentar síntomas de ralentización, tendrá importantes repercusiones energéticas, puesto que la mayor parte de las viviendas no han incluido los requisitos de eficiencia y, por tanto, este retraso afectará al consumo energético de las familias españolas durante toda la vida en el edificio. Por ello, las actuaciones posibles sobre la envolvente de los edificios ya existentes son considerablemente más limitadas que las que se pueden aplicar sobre edificios nuevos, estando el mayor potencial de actuación en los sistemas energéticos de los edificios existentes.

El RITE introduce la obligatoriedad de instalar contadores de energía térmica que permitan conocer el consumo de cada hogar y repartir proporcionalmente los costes. Esto contribuirá a que las nuevas viviendas que se construyan o se rehabiliten instalen sistemas de calefacción más eficientes. Además, el RITE establece una fecha límite para la instalación de calderas de bajo consumo, prohíbe la utilización de carbón e insta a la utilización de sistemas eficientes energéticamente que permitan la

---

<sup>62</sup> El CTE es el marco normativo español por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer una serie de requisitos básicos de seguridad, habitabilidad y eficiencia energética. El CTE es de obligado cumplimiento en los edificios de nueva construcción y en las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes. El CTE está compuesto por unas Exigencias Básicas, dentro de las que se incluye una referente al ahorro de energía.

recuperación de energía, así como la utilización de energías renovables y energías residuales.

Hasta el momento, el impacto general del CTE y el RITE ha sido muy limitado debido a su proceso de implementación lento.

En el futuro es necesaria una actualización periódica de los códigos de construcción para que los requerimientos se vinculen con las prácticas más avanzadas en cada momento y para incluir criterios de eficiencia energética más estrictos en el tiempo. Para ello es importante establecer unos sistemas de medición comunes para la realización de auditorías energéticas y para la inspección de los edificios.

En este contexto, el Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012 (MVIV, 2008) plantea objetivos de reducción de consumo energético (30 M barriles de crudo en el período y 13 M barriles/año a partir de 2013) y de emisiones (18 Mton CO<sub>2</sub> hasta 2012 y 8 Mton año a partir de 2013), así como de creación de empleos mediante la rehabilitación de 2.250.000 viviendas y 150.000 edificios. Las medidas planteadas en el Plan incluyen mejoras en el comportamiento térmico de la envolvente e instalación de energías renovables, mejoras en la accesibilidad, reducir la dependencia y factura energética, las emisiones de CO<sub>2</sub>, y crear nuevos empleos que absorban el desempleo generado como consecuencia de la reducción de la construcción de nuevas viviendas.

Este Plan se une a las medidas incluidas en el Plan de Acción de la Estrategia Española de Eficiencia Energética 2008-2012 (MITC, 2007) para el sector de la edificación, que incluyen: la rehabilitación de la envolvente de los edificios existentes; la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas en los edificios existentes; la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior de los edificios existentes; la promoción de la construcción de nuevos edificios con alta calificación energética; y la revisión de las exigencias energéticas de la normativa de edificación.

Como se ha comentado anteriormente, sería de gran ayuda, para lograr la sostenibilidad de los edificios, la introducción de controles de calidad de los materiales a lo largo de su ciclo de vida y de la ejecución con una perspectiva global, con el fin de garantizar la eficiencia energética y la calidad ambiental de los edificios ejecutados.

Un aspecto significativo a tener en cuenta es la escasa capacitación de la mayoría de los profesionales de la construcción (Pérez Arriaga et al., 2007) y de los encargados de realizar las inspecciones en los ayuntamientos. Por ello se deberían proveer y exigir el seguimiento de cursos de edificación sostenible.

### **7.3.3. Gestión de la demanda**

#### **A. ELECTRICIDAD**

La electricidad supone un porcentaje alto y creciente del consumo energético de los hogares (36% del total). La principal barrera para alcanzar un uso racional de la electricidad es la ausencia de señales de precios para las familias. Para que los ciudadanos utilicen la energía de forma eficiente y los fabricantes de electrodomésticos y constructores pongan en el mercado productos de bajo consumo energético es necesario y urgente que las tarifas eléctricas incluyan la variación de los precios de los combustibles e internalice los costes ambientales, lo que significa un fuerte incremento de los precios de la electricidad y la eliminación de tarifas especiales. La nueva normativa para introducir contadores en los hogares es positiva, pero sin el desarrollo de empresas de servicios energéticos que ofrezcan asesoramiento a las familias, difícilmente tendrán un impacto, dada la dificultad que encuentran las familias para entender la complejidad del funcionamiento del mercado de electricidad y la ausencia de incentivos de las empresas de distribución y comercialización de electricidad para promover actividades de ahorro y eficiencia energética en el consumo eléctrico. .

#### **B. ELECTRODOMÉSTICOS**

Por lo que respecta a los electrodomésticos y aparatos electrónicos, las normas de etiquetado energético son positivas porque ofrecen margen para la elección por parte del consumidor, pero se debe establecer una normativa que ponga límites mínimos de eficiencia para los electrodomésticos, y también estándares más estrictos en iluminación como, por ejemplo, la obligación de utilización de bombillas de bajo consumo<sup>63</sup>. Además, se deben favorecer programas voluntarios de los fabricantes para mejorar la eficiencia energética de los equipos electrónicos (ordenadores, electrodomésticos, televisores, etc.). Por ejemplo, si se quitase la opción de modo stand by se podría reducir en un 75% el consumo de energía de algunos electrodomésticos en el modo stand by (IEA, 2001). Estas medidas son las que arrojan un ratio de coste-efectividad más favorable para las familias.

En este contexto, el Plan Renove de Electrodomésticos consiste en sustituir 2,5 millones de electrodomésticos (frigoríficos, congeladores, lavadoras y lavavajillas) al año por otros con etiquetado energético A o superior (MITYC, 2009b). Este tipo de instrumento tiene la ventaja de atraer la atención y concienciar a las familias para producir un cambio de comportamiento estructural y en el uso de los aparatos. No

---

<sup>63</sup> Se debe planificar esta medida para que los fabricantes tengan suficiente tiempo para adecuar sus plantas de producción de manera que se alcancen economías de escala que redundarán en una reducción del coste de las bombillas eficientes.

obstante puede generar efectos no deseados como el efecto rebote o *free riding*, como se comentará en el apartado 7.5. Por otro lado, como la responsabilidad del diseño y la ejecución de los Planes corresponden a las Comunidades Autónomas, la velocidad de su ejecución, el seguimiento y control de resultados no es fácilmente controlable ni medible.

Finalmente, el Gobierno español presentó un nuevo Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011 (MITYC, 2008), que contiene 31 medidas para intensificar el ahorro y la eficiencia energética en España. El plan permitirá ahorrar el equivalente al 10 por 100 de las importaciones anuales de petróleo de España. Las medidas incluyen medidas transversales; movilidad; ahorro energético en edificios, y medidas de ahorro eléctrico. Resulta destacable que las propuestas para mejorar la eficiencia energética del sector residencial tan sólo se limitan a la sustitución de bombillas de baja eficiencia por bombillas de bajo consumo gratuitas. El Gobierno regalará 49 millones de bombillas (dos por hogar) entre 2009 y 2010. Se debe destacar que estas bombillas consumen un 80 por 100 de energía menos que las bombillas incandescentes. No obstante no parece que la iniciativa haya sido muy exitosa: a finales de julio de 2009 tan sólo se han recogido de las Oficinas de Correos 1,5 millones de bombillas. La UE prevé la supresión paulatina de las bombillas incandescentes a partir de septiembre del 2009 y su sustitución por nuevos modelos de bajo consumo. Las últimas bombillas tradicionales dejarán de comercializarse en 2012.

### **C. EMPRESAS PROVEEDORAS DE SERVICIOS ENERGÉTICOS (ESCO)**

Se ha comentado anteriormente que los consumidores no tienen a veces la capacidad de acometer las medidas más adecuadas para mejorar la eficiencia energética en sus hogares, por muchos motivos que se comentarán en el apartado siguiente. Por ello una buena medida es crear empresas que provean este servicio a los hogares. Estas empresas se denominan empresas proveedoras de servicios energéticos (ESCO por su abreviatura en inglés). La Directiva 2006/32/CE define las ESCOs como “una persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo. El pago de los servicios prestados se basará (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de eficiencia energética y en el cumplimiento de los demás requisitos de rendimiento convenidos”.

Algunos países como Alemania, Austria y EEUU han logrado un mayor desarrollo del mercado de servicios energéticos. En su crecimiento ha sido fundamental el liderazgo del sector público, que ha permitido el desarrollo de la iniciativa privada, reduciendo las incertidumbres ligadas a este nuevo mercado. En el caso de Alemania, la cuestión diferencial ha sido el importante el apoyo político obtenido a nivel local. Esto ha generado que el gran número de proyectos municipales tenga un fuerte efecto

multiplicador hacia otros sectores, sobre todo en el sector comercial. En los últimos años, las ESCOs han desarrollado principalmente dos modelos de negocio (Sáenz de Miera y Muñoz, 2009):

- Modelo de ingresos fijos: la ESCO no asume ningún riesgo en la recuperación de las inversiones y tan solo cobra una tarifa fija al cliente por sus servicios e inversiones llevadas a cabo, independientemente de los ahorros de costes que se deriven de las actuaciones llevadas a cabo.
- Modelo de retribución sometida a objetivos de ahorro: la remuneración depende de los ahorros logrados por el cliente y los contratos se estructuran de dos formas. El primero, es un contrato de ahorro garantizado en el que la ESCO cobra una tarifa fija por asesoramiento y el cliente lleva a cabo las inversiones. En este caso la ESCO garantiza que las inversiones generarán un ahorro mínimo de sus costes de suministro eléctrico, e indemnizará al consumidor cuando no suceda. El segundo es un contrato de ahorros compartidos, en el que la ESCO y el cliente se reparten los ahorros derivados de las mejoras de eficiencia energética sugeridas por la ESCO. En la práctica esto significa que la ESCO asesora e invierte en las mejoras de eficiencia energética que considera oportunas, que se amortizan cobrando un porcentaje fijo predeterminado de los ahorros obtenidos para recuperar el coste de la inversión. Este tipo de contrato exige una relación contractual con duración suficiente para permitir la recuperación de la inversión.

En España la implantación de las ESCOs es muy incipiente y para que despegue se necesita que los precios de la energía reflejen los costes lo más posible y contar con un apoyo de la Administración General del Estado en todos los niveles (desde el Gobierno hasta los Ayuntamientos). La promoción de las ESCO está incluida dentro del paquete de medidas del Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011 (MITYC, 2008). Las lecciones aprendidas de las experiencias en otros países son que se debería: disponer de contratos tipo para la contratación de servicios energéticos, crear un organismo certificador único, tanto de las ESCO como de las ganancias de eficiencia energética, y promover acciones ejemplarizantes de la Administración en todos los niveles.

#### **7.3.4. Cambios de comportamiento**

El comportamiento de las familias, su cultura y sus elecciones respecto a las tecnologías utilizadas influyen en gran medida en los consumos energéticos en los hogares. Sin embargo, el potencial de reducción de emisiones mediante opciones no tecnológicas se evalúa con poca frecuencia y no se comprende bien su potencial (IPCC, 2007). Para convertir ese potencial en realidad la Administración General del Estado, las Comunidades Autónomas y las Autoridades Locales deberían diseñar políticas

integradas para la aplicación de medidas que promuevan la eficiencia energética de las familias.

En el caso español, la rentabilidad exigida por las familias para las inversiones en eficiencia energética o energías renovables en sus hogares es mucho más alta que lo razonable, con periodos de amortización de la inversión mucho más cortos, debido al alto coste de inversión percibido en relación a la renta disponible, como se verá en el apartado siguiente.

Así como en España existe una fuerte cultura de ahorro de agua en la sociedad, en la energía existe un alto nivel de desconocimiento (REPSOL, 2009). Esto se debe a la falta de entendimiento sobre cómo se puede ahorrar energía sin perder calidad de vida. Se debería aprovechar la concienciación sobre el ahorro de agua para empujar las acciones en el terreno de la energía y educar a la sociedad en la eficiencia energética. Para aumentar el conocimiento por parte de los ciudadanos de cómo mejorar la eficiencia energética es necesario reforzar y enfocar las campañas de sensibilización y concienciación:

- Estas campañas deberían adecuarse al colectivo al que van dirigidas, puesto que mientras los jóvenes (18 a 29 años) son escépticos del efecto que tiene su contribución, los mayores (más de 65 años) tienen falta de conocimiento y actitudes para realizar las acciones.
- Esfuerzos adicionales deben realizarse para educar a las familias de rentas más bajas y aquellas personas con una educación inferior, de hecho se deberían destinar campañas concretas para el colectivo inmigrante.
- Por último, empresas y colegios son los lugares donde los ciudadanos socializan en actividades relacionadas con el ahorro y la eficiencia energética, por lo que se deberían explotar las sinergias que se producen por campañas conjuntas empresas-administración local y colegios- ayuntamientos.

## **7.4. Barreras existentes para materializar el potencial de la eficiencia energética**

Numerosos estudios han manifestado un gran potencial de ahorro energético en los hogares (Levine et al., 2007). Muchas de las medidas generarían beneficios a las familias superiores a los costes incurridos (McKinsey, 2008). Sin embargo los datos muestran que las inversiones necesarias no se realizan (WBCSD, 2009a). Existen multitud de motivos que pueden explicar esa ausencia de inversiones. Algunos autores creen que si no se realizan las inversiones es porque realmente no es tan rentable como se dice y la racionalidad económica de los consumidores las desaconseja (véase

Linares, 2009 para un mayor detalle). Existe una percepción generalizada por parte de las empresas de que el potencial de ahorro de estudios como el de McKinsey subestima los costes y sobreestiman los beneficios (WBCSD, 2009b). Por otro lado, los mercados energéticos no son perfectos y están llenos de fallos, lo cual explica que la inversión en ahorro y eficiencia se aleje de su punto óptimo (Linares, 2009).

Por todo ello, no está claro cuál es el potencial real de mejora en el sector residencial y, por tanto, no es evidente cuál debe ser la política más adecuada para incentivarlo. A continuación se recogen las barreras más destacables para la realización de inversiones en ahorro y eficiencia energética:

- **Precios de la energía reducidos y volátiles.** Los precios que no internalizan todo el coste ambiental o están subsidiados, no permiten obtener retornos adecuados a la inversión o añaden un riesgo no deseado a la inversión. Por ejemplo, en el caso español, unos precios de la electricidad artificialmente bajos han originado el denominado déficit tarifario (diferencia entre la recaudación total de las tarifas reguladas y los costes reales incurridos que dichas tarifas deben cubrir) que han reducido los incentivos para mejorar la eficiencia energética en los hogares al no contar con una señal de precios de mercado adecuada.
- **Altos costes de capital inicial que conllevan períodos largos de recuperación de las inversiones.** En muchas ocasiones las familias no tienen el capital para llevar a cabo estas reformas y, en otras, exigen un período de recuperación de la inversión de 2 ó 3 años. En el caso español, como el consumo para calefacción es más reducido que en otros países ubicados en latitudes más frías, el período de amortización de las inversiones es más largo. Esto, unido a unos precios bajos de la energía, hace que el incentivo para llevar a cabo inversiones en eficiencia energética sea muy reducido. No obstante, esto varía enormemente en las distintas Comunidades Autónomas dada la diversidad de condiciones climáticas del país.
- **La incertidumbre e irreversibilidad de las inversiones.** Las familias tienen dudas de que los beneficios estimados se materialicen, dadas ciertas incertidumbres regulatorias. Esta incertidumbre en la decisión de inversión añade una prima de riesgo a la rentabilidad exigida a la inversión.
- **Fallos de información.** Esto se produce tanto por la falta de información de los hogares españoles, como por los fallos de la información:
  - Falta de información perfecta sobre precios futuros de la energía y opciones de ahorro y eficiencia para evaluar las inversiones.

- Información asimétrica (cuando dos agentes tienen niveles de información muy diferentes); información imperfecta (cuando no se disponen de determinados elementos de información); miopía (el inversor tiende a asignar un mayor peso al coste inicial que a los beneficios derivados de los ahorros energéticos obtenidos).
- Racionalidad acotada que hace que, incluso disponiendo de toda la información, el consumidor puede no ser capaz de, o no estar interesado en, hacer los cálculos necesarios para tomar la mejor decisión.
- **Problema del “agente principal”.** Esto sucede cuando el responsable de realizar la inversión es diferente a quien se beneficiará de la misma. El ejemplo más claro es la divergencia de incentivos entre un inquilino, que tiene que hacer frente periódicamente a las facturas energéticas, y el propietario del inmueble, que tendría que realizar inversiones para mejorar la eficiencia.
- **Modelos de negocio no propicios para la eficiencia energética.** La lógica comercial de negocio de las compañías proveedoras de servicios energéticos no las incentiva a implementar medidas encaminadas al ahorro energético de sus clientes.
- **Fragmentación de tareas en la construcción de viviendas.** En la construcción de viviendas las empresas trabajan en compartimentos y no adoptan un enfoque integral que lleve a unas viviendas eficientes en términos energéticos. En el caso concreto del mercado laboral español, algunos investigadores creen que no está preparado para suministrar profesionales con la capacitación adecuada para acometer actuaciones de eficiencia energética.
- **Difusión lenta las tecnologías más avanzadas.** Esto sucede por la falta de capacitación, conocimiento y apoyo para la introducción de tecnologías más eficientes.
- **Cuestiones culturales o de sensibilización.** El consumidor no tiene interiorizado el valor del ahorro energético y, en muchos casos, tampoco dispone de la cultura energética necesaria para identificar potenciales comportamientos propicios para el ahorro.
- **Desequilibrio entre las atribuciones concedidas a las autoridades locales y el nivel de capacitación disponible.** Esto hace que en algunos casos la barrera para la introducción de medidas de eficiencia energética se encuentre en los Ayuntamientos.

## 7.5. Instrumentos para mejorar la eficiencia energética

Como se ha comentado en el apartado 7.3, el Gobierno español ha presentado sucesivos planes de eficiencia energética en los últimos años, aunque las medidas destinadas al sector residencial son reducidas y se engloban en tres áreas: edificación, Plan RENOVE de electrodomésticos y sustitución de bombillas.

La conclusión que se obtiene al analizar estos planes es que las medidas son claramente insuficientes para afrontar las barreras detalladas anteriormente. Esto pone de manifiesto la dificultad que tiene España para combatir el crecimiento de las emisiones difusas. Uno de los motivos es la dificultad para imponer ciertas medidas más restrictivas a las familias. No obstante, se pueden utilizar instrumentos regulatorios que guíen las decisiones de consumo e inversión de las familias. Estos se pueden agrupar en cuatro áreas: instrumentos económicos de precio y cantidad; medidas de “control y mando”; campañas de información y sensibilización; e incentivos.

### 7.5.1. Instrumentos económicos

#### A. PRECIOS

Los precios energéticos se consideran la herramienta más útil para promocionar el ahorro y la eficiencia energética de forma estructural. En principio un aumento de precios de los productos energéticos tendrá como efecto una reducción en el consumo. En el capítulo 2 se ha comprobado que esto sucede en los países de la OCDE y numerosos estudios ratifican esta premisa. El impacto de las medidas de precios no suele ser inmediato y el valor de la elasticidad se incrementa con el horizonte temporal. En el corto plazo, la demanda se reduce por una disminución del uso de equipos (por ejemplo, modificando la temperatura del hogar, apagando las luces innecesarias, desenchufando aparatos electrónicos, etc.). En el largo plazo, se producen cambios estructurales con la sustitución de materiales constructivos, sistemas de calefacción, electrodomésticos y aparatos electrónicos en los que prima la eficiencia energética.

La actuación de los Gobiernos puede ser en ocasiones correctora, al comprobarse que los precios no incorporan totalmente los costes de la energía (por ejemplo en la electricidad) o las externalidades ambientales. En el caso más extremo, los precios podrían incrementarse cuando no son lo suficientemente elevados para que los consumidores tengan incentivos para racionalizar su consumo.

Estas correcciones se pueden realizar a través de impuestos sobre el consumo de los productos energéticos, en el caso de carburantes, o la redefinición de la estructura de las tarifas, en el caso de la electricidad. Los cambios de precios en la estructura de tarifas pueden destinarse a reducir el consumo excesivo o a redistribuir el consumo a lo largo del día (reduciendo así el coste de una elevada demanda energética punta). Otras medidas correctoras son el establecimiento de tarifas, que no implican un incremento de precios, y pueden generar efectos positivos mejorando la definición de los términos tarifarios, ajustando los períodos tarifarios o perfeccionando los recargos o descuentos por discriminación horaria (Sáenz de Miera y Muñoz, 2009).

La ventaja de los instrumentos de precio es que no producen a corto plazo el efecto rebote que se produce en los estándares ni da lugar al *free riding* que puedan generar los incentivos positivos, por ejemplo, las subvenciones para la realización de inversiones destinadas a mejorar la eficiencia energética. Además, los impuestos son transparentes y compatibles con la heterogeneidad de los consumidores. Son fáciles de poner en práctica y suelen tener un bajo coste incremental de administración. Algunos autores añaden que el efecto de una subida de precios es más intenso que el que se experimenta ante una bajada de los mismos, lo cual refuerza la eficacia de este tipo de instrumentos. (Gately et al. 2002).

Las principales desventajas de las medidas de precio se derivan de su impopularidad, cuando suponen un incremento en el coste del suministro para los consumidores. Para mitigar el rechazo popular, a veces se destina la recaudación de estos impuestos a objetivos con contenido medioambiental o social (medidas para luchar contra el cambio climático, subsidios para consumidores de baja renta, etc.). También se puede restituir el monto a los propios consumidores, por medio de una cantidad uniforme por consumidor ("rebate", en la literatura inglesa), que así no da lugar a un incentivo contrario al deseado.

## **B. CANTIDAD: CERTIFICADOS BLANCOS**

Dentro de este grupo de instrumentos económicos de cantidad destacan los sistemas de certificados blancos. Este sistema consiste en imponer a distribuidores y/o comercializadores objetivos de reducción del consumo energético de sus clientes en un plazo determinado. En teoría el comercio de certificados blancos asegura que las actuaciones de eficiencia energética sean desempeñadas a mínimo coste, reduciéndose así el coste de consecución de los objetivos de eficiencia energética establecidos por el regulador.

Este sistema es similar al del comercio de emisiones. El regulador exige a las empresas la entrega anual de un volumen predefinido de tales certificados. El órgano verificador hace entrega de certificados a aquellos agentes que han desarrollado medidas de eficiencia energética. Las empresas sujetas a esta obligación pueden obtener los

certificados a través de actuaciones de eficiencia energética o adquiriéndolos a terceros.

La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, incluía la posibilidad de proponer la creación de un mercado de certificados blancos a nivel europeo. Hasta la fecha tan sólo Reino Unido, Francia e Italia han introducido este sistema. Todavía es pronto para evaluar la eficacia y eficiencia de estos sistemas, máxime teniendo en cuenta que poseen una multitud de elementos administrativos que incrementan la complejidad del análisis.

La principal ventaja de este instrumento es que desde el punto de vista teórico, los certificados blancos son considerados una medida efectiva para alcanzar ganancias de eficiencia energética. Las principales desventajas son la elevada complejidad administrativa necesaria para su puesta en marcha, las dificultades para desarrollar un verdadero mercado en el que los agentes intercambien ganancias de eficiencia energética, la dificultad de verificar los ahorros energéticos y la elevada intervención sobre el esquema regulatorio, que ha requerido constantes modificaciones para su funcionamiento. Además, la incertidumbre sobre el precio desincentiva el desarrollo de inversiones.

## **7.5.2. Instrumentos de “mandato y control”**

### **A. ESTÁNDARES**

Los estándares absolutos imponen una reducción absoluta y obligatoria del consumo energético (o las emisiones) y son muy efectivos. Un claro ejemplo en el sector residencial es la prohibición de la comercialización de bombillas de alto consumo a partir de 2012. Esta medida tendrá un efecto gradualmente importante puesto que la iluminación representa el 18% del consumo eléctrico de los hogares (6,5% del total). Por tanto este instrumento puede conseguir mejoras de la eficiencia energética con carácter estructural que no se podrían obtener con otros instrumentos como los económicos.

No obstante habitualmente los estándares son relativos, estableciendo niveles obligatorios máximos o mínimos de consumo energético o emisiones para ciertos equipos. Algunos ejemplos incluyen los vehículos (gramos CO<sub>2</sub>/Km.), edificios (determinado tipo de aislamiento por m<sup>2</sup>), electrodomésticos (Kwh. por lavado) y otros referentes a los equipos electrónicos.

Por lo que se refiere a la utilización de este tipo de instrumento en el sector residencial, el área donde resulta más apropiada es en el establecimiento de niveles máximos de consumo energético de los electrodomésticos o la eliminación del modo

de *standby* en los aparatos electrodomésticos (cargadores de móviles, videos, ordenadores, etc). Dado el limitado consumo de este tipo de aparatos, el ahorro energético será limitado pero importante, puesto que son estos los tipos de consumo que están incrementando la demanda energética en el país.

En el caso español hay que tener en cuenta que la competencia para fijar estándares se encuentra dentro del contexto de la Unión Europea y cualquier iniciativa en esta área debe contar con el consenso comunitario.

## **B. CODIGOS TÉCNICOS DE EDIFICACIÓN**

El Código Técnico de la Edificación (CTE) regula las exigencias básicas de eficiencia energética que deben cumplir los edificios, por lo que de alguna forma es una recopilación de estándares de los diferentes elementos comprendidos en la construcción del edificio.

Este instrumento permite aportar un enfoque integral a la eficiencia energética de los edificios, puesto que buena parte de los elementos están relacionados, pero es necesario realizar un esfuerzo para lograr la integración de estos elementos. Para que los CTE sean válidos y contribuyan a mejorar la eficiencia energética es necesaria una revisión continua y actualización de la normativa, que incluya criterios de eficiencia energética más estrictos en el tiempo, acordes con la evolución tecnológica.

Las ventajas de la introducción de estándares es que son el instrumento más popular en materia de ahorro y eficiencia energética, lo cual puede deberse a que sus costes no son transparentes, en especial para el consumidor; porque son efectivos y porque son relativamente fáciles de implantar administrativamente. No obstante los estándares presentan importantes desventajas (véase Linares, 2009 para un mayor detalle):

- Pueden frenar el cambio tecnológico cuando la tecnología avanza muy rápido.
- Generan el efecto rebote, puesto que suponen un aumento de los costes de inversión y una disminución de los costes de utilización, lo cual incentiva un mayor consumo. Este rebote aumenta cuando los estándares no van acompañados de programas de retirada acelerada de equipos antiguos.
- Son inflexibles a la heterogeneidad y gustos de consumidores y ubicaciones geográficas

### **7.5.3. Instrumentos de información**

Este tipo de medidas se destinan a resolver el fallo de mercado producido por la información incompleta por parte de los hogares, así como la racionalidad acotada del

consumidor. Las medidas orientadas a la mejora de la información se encuentran muy extendidas en los países occidentales. Entre ellas destacan las campañas informativas, que incluyen:

- Campañas de información general o enfocada a cuestiones específicas de eficiencia (por ejemplo, consumo de equipos en modo stand by).
- Etiquetado energético en equipamientos (por ejemplo, en electrodomésticos) con datos del ahorro monetario que suponen bajo distintos supuestos de uso.
- Inclusión en las facturas de información sobre consumos históricos, consumo estándar por equipo, etc.
- Fomento de las auditorías energéticas que muestran información personalizada a los consumidores. En el caso del sector residencial esto se materializa con requerimientos para que las compañías suministradoras del servicio energético realicen auditorías a sus clientes, lo que podría incluir una financiación de la Administración de una parte del coste, etc.

Existe a su vez una necesidad de “socializar” el concepto de energía (REPSOL, 2009) con el objetivo de movilizar e implicar al ciudadano en las materias del ahorro y la eficiencia energética. Entre las medias que se podrían abordar con este fin están: el desarrollo de programas de sensibilización sobre el ahorro energético; la inclusión del ahorro y la eficiencia energética en los diferentes Planes de Educación; la ruptura de barreras sociales para superar el escepticismo y la reticencia que provoca el desconocimiento y la falta de visualización de la energía, y desarrollo de programas de formación sobre tecnologías del ahorro energético.

Para poder ofrecer una información y educación efectiva es necesario coordinar un esfuerzo conjunto entre los distintos niveles de la Administración General del Estado, las empresas, las Universidades y las escuelas.

La principal ventaja de este tipo de instrumento es que no genera oposición pública, pues ni empresas ni consumidores se ven forzados a alterar su comportamiento, pero obtienen una información valiosa sobre cómo reducir su factura energética.

Las principales desventajas son el coste para el sector público y la dificultad de evaluar su efectividad. La mejor información no necesariamente deriva en una modificación de los hábitos de consumo. Como en España el precio de la energía es inferior a su coste real, los consumidores no comprenden los costes incurridos en el consumo de energía y, además, los consumidores aplican una tasa de descuento muy elevada a las inversiones en ahorro energético.

## 7.5.4. Incentivos

El uso de los incentivos es muy extendido para promocionar el ahorro y la eficiencia en el sector residencial. Un ejemplo claro es el Plan Renove para la compra de electrodomésticos eficientes. En este caso se subvenciona la compra de electrodomésticos más eficientes y su sustitución por otros menos eficientes.

Los incentivos tienen como principal ventaja una gran aceptación política y social. Algunos autores consideran los incentivos más efectivos que los impuestos. Sin embargo, los incentivos adolecen de dos claras desventajas en detrimento de su efectividad y eficiencia: el efecto rebote y el *free riding*. Este último efecto se produce cuando los recursos destinados a incentivos son malgastados, ya que no eran necesarios puesto que se hubieran llevado a cabo de todas formas (véase Linares, 2009, para mayor detalle).

Para concluir, no hay ningún instrumento óptimo y lo razonable es utilizar combinaciones de instrumentos como modo más efectivo de promover el ahorro y la eficiencia energética, puesto que puede que se agote el potencial de un instrumento o que los resultados de un instrumento se refuercen con otro. Por ejemplo ante una subida de impuestos los ciudadanos reaccionarán mejor si han estado informados de cómo reducir su consumo energético.

## 7.6. Conclusiones

El comportamiento del sector residencial va a seguir teniendo un papel fundamental en la evolución de la IE y es necesario abordarlo con seriedad si se quiere reducir la dependencia energética y mitigar el crecimiento de emisiones en España. La evolución del sector ha sido muy diferente a la de Europa porque partiendo de niveles de IE más bajos por las mejores condiciones climáticas y a una menor renta per cápita, se ha convergido hacia niveles europeos. Además, cuando se analiza el consumo energético y las emisiones del sector se deben tener en cuenta los consumos indirectos de la demanda de electricidad y la importante demanda de minerales no metálicos (cemento, ladrillos, cerámica, etc) para la construcción de sus viviendas.

Los datos mostrados en este capítulo señalan que el crecimiento del consumo energético en los hogares se ha producido principalmente por el aumento del número de viviendas, derivado en parte por el incremento de la población y por los cambios socioculturales. Además, se ha producido un importante crecimiento del número de segundas residencias desde el año 2001 por el aumento de la renta de los españoles y el atractivo del país como destino vacacional de la población europea.

El incremento del consumo por una mayor renta per cápita no se ha compensado con una mejora en la eficiencia energética de las edificaciones. Ni la planificación urbana ni los edificios se han diseñado con criterios de eficiencia energética, los materiales utilizados se encuentran entre los más contaminantes y los sistemas energéticos utilizados no son los más eficientes, ni integran la respuesta térmica del edificio. Existe un gran potencial de integrar energías renovables en los edificios en España y de potenciar los sistemas de cogeneración y trigeneración. No obstante la elección y utilización del sistema de calefacción están muy influidas por la zona climática donde se ubica la vivienda y por el tamaño de la vivienda.

Por lo que se refiere al equipamiento doméstico, su consumo energético no es proporcionalmente el más significativo, pero es el que tiene un potencial de crecimiento mayor. En su conjunto el consumo de electricidad en España ha aumentado un 82% entre 1995 y 2006, tendencia que se ha visto favorecida por unos precios de la electricidad que se han reducido y que se sitúan entre los más bajos de Europa. A pesar de estos crecimientos, en 2006 tan sólo se destinó un 2,2% del presupuesto familiar a las necesidades energéticas del hogar.

Los aspectos socioculturales (familias reducidas, incorporación de la mujer al mundo laboral, nuevas necesidades, etc.) influyen en el consumo energético, pero su impacto es difícilmente medible. Desde un punto de vista sociológico el problema está en que las familias perciben el concepto de “ahorro energético” como una reducción del consumo de energía en el hogar y en consecuencia de calidad de vida, excluyendo en ese concepto los aspectos que condicionan la eficiencia del consumo como son la compra de vivienda, la elección de una caldera más eficiente, la elección de electrodomésticos, etc.

Para cambiar estas tendencias y reducir el consumo energético de las familias las medidas deben encaminarse a mejorar la eficiencia en los sistemas de climatización y la eficiencia de las edificaciones. No obstante, el retraso en la aprobación del CTE y su entrada en vigor tiene como consecuencia que las actuaciones posibles sobre la envolvente de los edificios ya existentes son limitadas y que el mayor potencial de actuación está en los sistemas energéticos de los edificios existentes. Además de la necesaria actualización periódica y el reforzamiento del CTE para incluir criterios de eficiencia energética más estrictos en el tiempo, se deben introducir medidas específicas para la rehabilitación de viviendas con criterios de eficiencia. Algunas recomendaciones en este área incluyen incentivar enfoques integrales para el diseño y construcción de edificios, la realización de auditorías energéticas con sistemas de medición comunes, la introducción de controles de calidad de los materiales a lo largo de su ciclo de vida y de la construcción de viviendas con una perspectiva global. Estas medidas requieren aumentar la capacitación de los profesionales de la construcción y de las Administraciones que tienen asignadas las competencias.

La electricidad supone un porcentaje alto y creciente del consumo energético de los hogares y en la actualidad la principal barrera para fomentar su uso racional es la ausencia de señales de precios. En lo referente a los electrodomésticos y aparatos electrónicos, las normas de etiquetado energético son positivas porque ofrecen margen para la elección por parte del consumidor, pero se debe establecer una normativa que ponga límites mínimos de eficiencia para todos ellos y también estándares más estrictos en iluminación. Las medidas aprobadas recientemente por el Gobierno van en esa dirección, aunque por ahora su impacto ha sido limitado. Debería analizarse si estas medidas generan efectos no deseados como el efecto rebote o *free riding* e introducir medidas correctoras.

Las campañas informativas de sensibilización pueden complementar estas medidas pero deben enfocarse a determinados grupos (jóvenes, mayores, rentas más bajas), aprovechar sinergias con las acciones efectuadas en las empresas e introducir la asignatura de eficiencia energética en los currículos educativos.

A pesar del gran potencial de ahorro energético en los hogares, las inversiones necesarias para su materialización no acaban de despegar. Estas no se realizan, porque la racionalidad económica de los consumidores lo desaconseja y porque los mercados energéticos no son perfectos y están llenos de fallos que hacen que estas inversiones se alejen de su punto óptimo. Las principales barreras a la materialización de este potencial se engloban en torno a tres áreas:

- Rentabilidad de la inversión: por precios reducidos y volátiles; por altos costes de capital inicial que conllevan períodos largos de recuperación de las inversiones; y por la incertidumbre e irreversibilidad de las inversiones.
- Aspectos estructurales: por modelos de negocio no propicios para la eficiencia energética; por la fragmentación de tareas en la construcción de viviendas; por la difusión lenta las tecnologías más avanzadas; por el desequilibrio entre las atribuciones concedidas a las autoridades locales y el nivel de capacitación disponible.
- Entendimiento del individuo: por la falta de información para evaluar las inversiones; por la racionalidad acotada; por el problema del “agente principal”; y por cuestiones culturales o de sensibilización.

Las medidas aprobadas por el Gobierno para mejorar la eficiencia energética de los hogares parecen insuficientes para afrontar estas barreras y dificulta la consecución de los objetivos ambientales en el área de las emisiones difusas. Existen una serie de instrumentos regulatorios que pueden ayudar a cambiar estas tendencias y se agrupan en cuatro grandes áreas: instrumentos económicos de precio y cantidad; medidas de

“control y mando”; medidas destinadas a mejorar la información de los consumidores; e incentivos.

La tabla 7.9 recoge un resumen de las ventajas e inconvenientes de cada una de estas opciones presentadas. No hay ningún instrumento óptimo y lo razonable es utilizar combinaciones de instrumentos como modo más efectivo de promover el ahorro y la eficiencia energética puesto que puede que el potencial de un instrumento se agote o que los resultados de un instrumento se refuercen con otro.

**Tabla 7.9. Ventajas y desventajas de los instrumentos de eficiencia energética.**

	CERTIFICADOS			CAMPAÑAS DE	
	PRECIO	BLANCOS	ESTÁNDARES	INFORMACIÓN	INCENTIVOS
<b>Eficiencia</b>	Alta	Alta	Media	Baja	Media
<b>Efectividad</b>	Alta	Alta	Media	Baja	Alta
<b>Efecto rebote</b>	No	No	Sí	No	Sí
<b>Free riding</b>	No	No	No	No	Sí
<b>Coste Administrativo</b>	Bajo	Alto	Medio	Alto	Alto
<b>Popularidad</b>	Baja	No conocido	Media	Alta	Alta
<b>Complejidad</b>	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja
<b>Incertidumbre</b>	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja
<b>Flexibilidad</b>	Alta	Alta	Baja	Alta	Medio

*Fuente: Elaboración propia.*

Se podría concluir que la experiencia reciente parece indicar que los instrumentos económicos y, en particular la señal de precios de la energía, son instrumentos básicos para fomentar la eficiencia energética. En el sector residencial esta medida se debe complementar con un sistema de regulación de Códigos Técnicos de Edificación y de estándares en los electrodomésticos. Los incentivos deberían estar enfocados a determinados colectivos para minimizar el free riding y acompañarse de campañas de información o cláusulas que minimicen el efecto rebote.

Los apoyos públicos para incentivar la eficiencia energética deben guiarse por los principios de transparencia, sencillez, estabilidad, suficiencia y predictibilidad. Además cualquier iniciativa pública debe acompañarse de mecanismos de evaluación y control, para poder flexibilizar y adaptar las medidas en el tiempo. Para ello es necesario destinar recursos para la formación y capacitación de las instituciones locales que ejerzan la competencia en materia de eficiencia energética. Finalmente, los esfuerzos deben enfocarse en aquellos consumos que tienen un mayor peso, siguiendo criterios de coste-eficiencia.

## ***8. La eficiencia energética en el sector del transporte***

8.1. Introducción.....	258
8.2. La problemática del transporte .....	261
8.3. El transporte de mercancías .....	267
8.4. Medidas para mejorar la eficiencia energética del transporte de mercancías.....	272
8.5. El transporte de viajeros.....	275
8.6. Medidas para mejorar la eficiencia en el transporte de viajeros.....	285
8.7. Instrumentos para mejorar la eficiencia del transporte .....	293
8.8. Conclusiones .....	309

## 8.1. Introducción

El transporte se halla ante una contradicción permanente entre una sociedad que demanda más movilidad pero que soporta cada vez peor el deterioro ambiental generado como consecuencia. Esta contradicción permanente se traslada también a los Gobiernos, que buscan satisfacer las demandas de infraestructuras y mayor agilidad del sistema de transporte, sin poder ofrecer una respuesta a las externalidades ocasionadas por las mismas.

El transporte y sus infraestructuras son elementos esenciales para mejorar la calidad de vida, aumentar la competitividad de la economía y reforzar la cohesión social y territorial. Dentro de las tres vertientes del desarrollo sostenible – económica, social y medioambiental- el transporte ha sido capaz, en general, de satisfacer las dos primeras: contribuyendo a satisfacer las necesidades de movilidad de las actividades económicas y su competitividad y proporcionando accesibilidad de los ciudadanos a mercados de trabajo, bienes y servicios, así como favoreciendo la equidad social y territorial. Sin embargo, al satisfacer estas necesidades de movilidad, se ha descuidado la vertiente ambiental.

El transporte no sólo es un elemento esencial de nuestra forma de vivir sino que también origina valor añadido en las economías. La aportación al Producto Interior Bruto (PIB) español del transporte asciende al 6%, aunque de forma indirecta llega a contribuir con cerca del 10% del PIB. El otro lado de la moneda es que las externalidades ocasionadas por el transporte tienen un coste no incluido en su precio, que puede llegar a representar a su vez el 10% del PIB (Mendiluce, 2008). Las presiones del transporte se traducen en emisiones de GEI y de contaminantes locales derivadas del consumo energético; accidentes y congestión que afectan al cambio climático, a la mala calidad del aire en las ciudades, a la salud de los ciudadanos y a los ecosistemas. Se podría decir, por tanto, que el transporte es víctima de su propio éxito.

En el capítulo 3 se ha puesto de manifiesto la enorme influencia del transporte en la evolución de la IE. El transporte es responsable de más de la mitad de la diferencia de IE con la UE en 2006. Entre 1980 y 2006 la IE aumentó en 12,7 tep/M€ y el transporte contribuyó a ese incremento con un aumento de 10,4 tep/M€ en el transporte de mercancías y 4,7 tep/M€ en el transporte de viajeros, crecimiento que fue contrarrestado por la industria.

Por otro lado en el capítulo 4 se comprueba cuáles son los sectores que más impulsan el transporte de mercancías. Concretamente la demanda de materiales asociados a la construcción constituye un 23% del transporte de mercancías por carretera, seguido de la alimentación y la agricultura, lo cual condiciona las posibles medidas para mejorar su IE.

La fuerte dependencia del transporte de los productos petrolíferos influye de forma determinante en la dependencia energética de los sectores económicos, tal y como se ha puesto de manifiesto en el capítulo 6. El transporte es responsable del 45% de todo el incremento de la dependencia energética de la economía española entre 1990 y 2006. En consecuencia es la actividad que incurre en mayores riesgos ante problemas en el suministro energético y es el sector más vulnerable, debido a la concentración de su demanda en los productos petrolíferos con pocos sustitutos.

Para hacer frente al reto del cambio climático y reducir la dependencia exterior en el petróleo es clave desvincular el crecimiento económico del crecimiento del transporte. Para ello se deben introducir estrategias integrales enfocadas a la desmaterialización de las economías, la reducción del ámbito espacial de flujos de materiales y la optimización del sistema de transporte. La mayor parte de las actuaciones de los Gobiernos se centran en esta última estrategia, con medidas encaminadas a equilibrar la distribución modal, gestionar la demanda, promover cambios de comportamiento y continuar la mejora de la eficiencia.

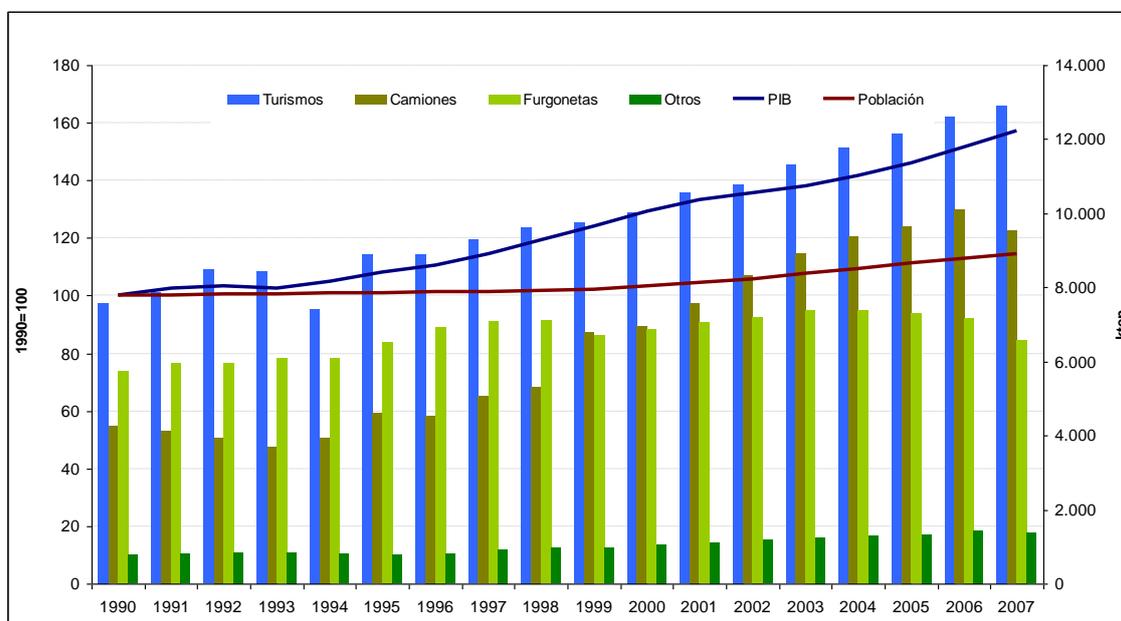
La desvinculación del transporte respecto al crecimiento económico puede ser absoluta o relativa. Una desvinculación absoluta significa que las externalidades se reducen mientras que el PIB de un país crece, lo cual ha sucedido con algunos contaminantes locales que afectan a la calidad del aire de las ciudades, como son el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), el plomo (Pb) el ozono (O<sub>3</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Por otro lado, la desvinculación relativa se produce cuando el daño ambiental crece menos que el PIB. Esto sucede en el caso de las emisiones de GEI en algunos países europeos, pero en España ocurre justo al contrario.

En el gráfico 8.1 se muestra la evolución de las principales magnitudes del transporte en España. El PIB en euros constantes de 1995 ha crecido entre 1990 y 2007 un 57% y la población un 14%; sin embargo el consumo energético del transporte ha aumentado mucho más, tanto en el transporte en vehículo particular (70%), como en camión (124%), aunque menos en furgonetas (15%). Dado que esta movilidad se cubre principalmente con combustibles fósiles derivados del petróleo, las emisiones de GEI han crecido de forma similar.

El funcionamiento del libre mercado no considera las interacciones del transporte con el medio ambiente, por lo que no resultan valoradas en términos económicos y en consecuencia no son tenidas en cuenta en las decisiones de producción y consumo de los agentes económicos. Así, el bienestar social global no se maximiza y no se consigue que los agentes privados internalicen el coste de los daños ambientales generados. Hasta la fecha el instrumento principal utilizado para combatir los impactos ambientales del transporte ha sido la regulación a través de estándares en vehículos y

combustibles. Estas medidas han sido positivas para reducir algunos contaminantes, pero insuficientes para compensar el incremento de la demanda y cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones de GEI.

**Gráfico 8.1. Evolución del transporte en España (1990=100)**



*Fuente: Elaboración propia*

Numerosos estudios confirman que las tendencias insostenibles del transporte persistirán en el futuro, por lo que se deben emprender acciones urgentes para mitigar su crecimiento. No existe una solución única para el problema del transporte y las acciones deben adoptarse desde un enfoque integrado en el que empresas, administraciones y ciudadanos tienen un papel que jugar.

Por todos estos motivos, en este capítulo, al igual que en el anterior, se aborda un análisis más profundo de los aspectos que influyen en la eficiencia del sector para poder comprender mejor cuáles han sido los verdaderos determinantes del incremento de la IE en España y qué se puede hacer para cambiar las tendencias más recientes.

Para ello se identifican, en primer lugar, los principales problemas del transporte. En segundo lugar, se analizan los determinantes del transporte de mercancías y se aportan unas recomendaciones para aumentar su eficiencia. En tercer lugar, se profundiza en el transporte de viajeros y se aportan unas recomendaciones para su racionalización. En cuarto lugar, se definen los principales instrumentos utilizados por los Gobiernos para modificar las pautas de transporte y se analiza la efectividad internalizadora de algunas medidas, analizando en algunos casos su efecto en España. Finalmente se aportan unas conclusiones.

## **8.2. La problemática del transporte**

Cada vez que se transportan mercancías o personas se está consumiendo algún tipo de energía, que en la mayor parte de los casos es un producto derivado del petróleo. Este consumo energético afecta a la IE del país, a la seguridad energética y produce una serie de externalidades ambientales. Este último aspecto es de particular importancia puesto que los vehículos generan emisiones de contaminantes locales y globales que repercuten en el medioambiente (cambio climático, calidad del aire, etc.) y en la salud de las personas.

### **8.2.1. La dependencia energética del transporte**

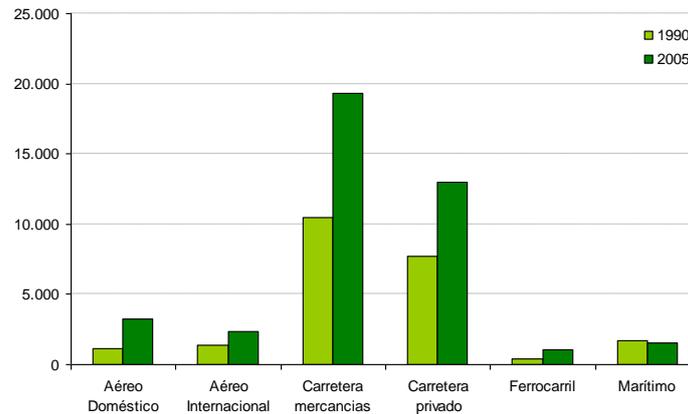
En los últimos años el transporte se ha convertido en el mayor demandante de energía en España: en 2006 consumió el 30% de la energía primaria y el 42% de la energía final.

El transporte, a diferencia de otros sectores con fuertes crecimientos, como el sector eléctrico, apenas ha avanzado en la sustitución y reducción del consumo de combustibles fósiles por tecnologías más eficientes y/o con energías renovables. El transporte es el principal demandante de productos petrolíferos, un 64% del total en 2006 frente al 56% en 1990. La mayor parte del consumo energético en el transporte por carretera es de diésel (74% del total), mientras que los biocarburantes tienen todavía un peso simbólico (1%). Así que la diversificación es inexistente y se depende completamente de los derivados del petróleo, que satisfacen el 98% de la demanda total. Esto sucede también en los demás países de la OCDE, por la escasa participación del ferrocarril y la limitada penetración de los biocarburantes.

La mayor parte de ese consumo (el 80%) se produce en la carretera, siendo muy reducida la penetración del ferrocarril y marítimo. El transporte aéreo es el que ha experimentado un mayor crecimiento en términos relativos entre 1990 y 2006, como se aprecia en el gráfico 8.2.

La concentración de la demanda -en la carretera y el diésel- aumenta la dependencia exterior del sector y su vulnerabilidad ante subidas de precios. La evolución del precio del crudo amenaza la competitividad de las empresas y el crecimiento de las economías, particularmente de aquellas como la española que no han conseguido diversificar su demanda energética. Por ello, la aparición de vehículos híbridos y vehículos eléctricos ofrece un panorama más esperanzador a largo plazo, como se comentará en el apartado 8.6.1.

**Gráfico 8.2: Evolución consumo energético por modo de transporte 1990-2006.**



Fuente: Elaboración propia a partir de los balances energéticos de la IEA (2008a).

**Tabla 8.1. Tipos impositivos sobre hidrocarburos en la UE15 (€ por 1000 litros).**

País	Tipo IVA	Gasolina	Gasóleo	Gasóleo profesional
Reino Unid	18	760	807	693
Holanda	19	679	371	365
Alemania	19	655	486	470
Bélgica	21	592	331	305
Francia	20	607	428	392
Finlandia	22	588	346	319
Portugal	21	583	364	339
Italia	20	564	423	403
Suecia	25	545	398	394
Dinamarca	25	538	470	404
Irlanda	21	443	368	368
Luxemburgo	15	462	290	278
Austria	20	447	375	325
<b>España</b>	<b>16</b>	<b>396</b>	<b>302</b>	<b>294</b>
Grecia	19	331	276	260
<b>UE-15</b>	<b>20</b>	<b>546</b>	<b>402</b>	<b>374</b>

Fuente: Comisión Europea (2007)

Por lo que se refiere a los precios de los carburantes, en España los impuestos de hidrocarburos son menores que la media europea y existe, al igual que en el resto de países excepto el Reino Unido, una diferencia de gravámenes importante entre la gasolina y el gasóleo (tabla 8.1).<sup>64</sup> Esta política fiscal tiene consecuencias para la eficiencia energética. En primer lugar, la baja imposición del gasóleo crea distorsiones competitivas con otros países e incentiva el transporte por carretera. En segundo lugar, el menor gravamen del diésel respecto a la gasolina, unido al menor consumo

<sup>64</sup> En el caso español se autoriza la creación del gasóleo profesional, que mantiene el gravamen anterior, 294 € por 1000 litros hasta 1/1/2010 y después de 302 € por 1.000 litros hasta el 1/1/2012, cuando se armonizará con los gravámenes establecidos.

específico por kilómetro recorrido del primero, contribuyen al efecto rebote. En tercer lugar, esta diferencia no tiene una justificación medioambiental. Por todo ello parece razonable esperar, tal y como dictaminan las recientes Directivas<sup>65</sup>, que se reduzca la diferencia de fiscalidad en los impuestos del diésel y de la gasolina y que los impuestos en España converjan hacia niveles europeos, en los plazos que establecen las Directivas.

## **8.2.2. El impacto ambiental del transporte**

### **A. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

Las principales externalidades medioambientales del transporte se derivan del consumo energético, que en 2006 generó en España el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tras un incremento del 89% entre 1990 y 2006. Esta evolución contribuye decisivamente a que las emisiones de GEI totales en el año 2006 superen en un 48% las del año base (gráfico 7.1). El transporte se encuentra entre los sectores difusos excluidos del sistema de comercio de emisiones europeo, por lo que no es posible imputar bajo este sistema el coste de esta desviación a quien lo genere. Por ello el Gobierno tendrá que asumir el coste del exceso de las emisiones de los sectores difusos sobre el objetivo adquirido. Para el periodo 2013-2020 la UE ha fijado objetivos de reducción de las emisiones difusas por países. A España le corresponde una reducción en torno al 10%, un objetivo claramente difícil si se tiene en cuenta la evolución reciente del sector.

El fuerte peso de las emisiones del transporte en los inventarios nacionales de emisiones de GEI es una cuestión recurrente en todos los países. La evolución de los distintos modos muestra un preocupante incremento de las emisiones del transporte aéreo en los países europeos debido al incremento de la renta per cápita y los beneficios derivados de la aparición de compañías de baja escala, la fuerte implantación de la venta por Internet y la exención del impuesto sobre hidrocarburos. Todo ello se traduce en ofertas de vuelos a precios muy bajos, incluso competitivos con otros medios de transporte. Por ello, la inclusión del sector de la aviación en el sistema de comercio de emisión europeo es una iniciativa positiva para la internalización de una parte de las externalidades generadas, pero no se pueden esperar grandes avances puesto que las convenciones internacionales limitan su ámbito de aplicación; de hecho, seguramente no se incluya antes de 2012 y

---

<sup>65</sup> Directiva 2003/96/CE relativa a la armonización de las estructuras del impuesto especial sobre los hidrocarburos y Directiva 92/82/CEE del Consejo relativa a la aproximación de los tipos del impuesto especial sobre los hidrocarburos.

probablemente los operadores afectados compren derechos de emisión en el mercado a otros sectores en vez de reducirlas.

La Comisión Europea está estudiando varias medidas al respecto, que incluyen la mencionada inclusión del transporte aéreo en el sistema de comercio de emisiones, la mejora de la eficiencia de los modos de transporte con límites de emisión en los vehículos, la mejora de la calidad de los carburantes, la mayor penetración de los biocombustibles, así como la reforma de la fiscalidad del transporte por carretera. Sin embargo, al tratar también de evitar la pérdida de competitividad de las empresas europeas y asegurar la equidad en términos distributivos, se limita el potencial de reducción de emisiones de estas medidas. Ahora bien, si los países de la Unión Europea quieren realmente cumplir sus objetivos de reducción de emisiones entre 20 y 30% en 2020 y de entre el 50 y 80% en 2050, deberán efectuar reformas más ambiciosas en este sector clave.

El Gobierno español reconoce que el transporte es un sector crítico en el país para el cumplimiento del Protocolo de Kioto. Las proyecciones manejadas por el Gobierno estiman que las emisiones de los sectores difusos (un 40% corresponden al transporte) aumentarán en el período 2008-2012 un 65% por encima de las del año 1990 (EECCyEL, 2007), lo que por otro lado refleja una expectativa de reducción de las emisiones respecto a la evolución hasta 2006. Por ello es importante analizar cuáles son las medidas que se pueden llevar a cabo para alcanzar estos ambiciosos objetivos.

## **B. CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

La contaminación del aire está definida en la Directiva 84/360/CEE<sup>66</sup> como “la introducción a la atmósfera, directa o indirectamente, por el hombre, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilidades legítimas del medio ambiente”.

La mala calidad del aire afecta a la salud de toda la población, pero especialmente a grupos de riesgo (niños, mujeres, embarazadas, enfermos y personas mayores de 65 años), además, reduce la esperanza de vida y provoca enfermedades cardiovasculares y del aparato respiratorio. Estudios realizados en tres grandes ciudades españolas – Madrid, Sevilla y Bilbao- advierten de que cuando los niveles diarios de partículas menores de diez micras (PM10) superan los 50 µg/m<sup>3</sup> se producen 1,4 muertes prematuras anuales por cada 100.000 habitantes a corto plazo. Por otro lado, si se

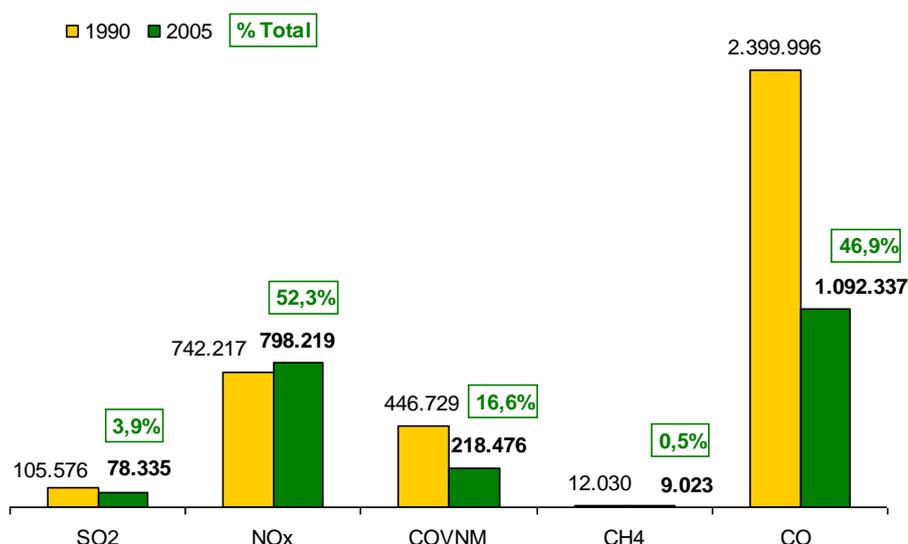
---

<sup>66</sup> Directiva 1984/360/CEE de 29 de junio de 1984 relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales

hiciese un esfuerzo mayor y se redujesen los niveles de PM<sub>2,5</sub> hasta los 10 µg/m<sup>3</sup> se podrían evitar 3.777 muertes al año en las grandes ciudades españolas (OSE, 2007).<sup>67</sup>

En España han disminuido progresivamente varios contaminantes locales generados por el transporte por carretera como consecuencia de las mejoras tecnológicas introducidas en los vehículos y de la utilización de combustibles de mejor calidad. Como se aprecia en el gráfico 8.3, las emisiones de monóxido de carbono (CO) del transporte representan el 47% del total y son las que más han disminuido en términos absolutos y relativos. Sin embargo, las emisiones de compuestos de nitrógeno (NOx), que representan un 52% del total, han aumentado entre 1990 y 2005 como consecuencia del incremento de la utilización de diésel y del aumento de la distancia recorrida. Además, en los últimos años se ha producido un aumento de las partículas en suspensión de 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>), que son las más peligrosas.

**Gráfico 8.3. Evolución de las emisiones atmosféricas del transporte en España (ton) y su porcentaje sobre el total de emisiones en 2005.**



Fuente: Elaboración propia a partir de OSE, 2007.

Estos avances de deben, en gran medida, a la introducción de las normas Euro sobre calidad de los carburantes propugnadas por la legislación europea (tabla 8.2), que han ido progresivamente reduciendo los gramos de emisión por kilómetro. Como se puede apreciar en el caso de los NOx, el límite impuesto al diésel es 3 veces superior al de la gasolina, por lo que la ventaja fiscal del diésel no se sustenta por motivos medioambientales. Hay que destacar que con la entrada en vigor de la normas Euro 4 en enero de 2005 para turismos y vehículos ligeros se obliga a reducir a la mitad las

<sup>67</sup> Los valores límite para las PM<sub>10</sub> que entraron en aplicación en el año 2005 son de una media anual de 40 µg/m<sup>3</sup> o media diaria de 50 µg/m<sup>3</sup> durante más de 35 días al año. Por lo que se refiere a las partículas PM<sub>2,5</sub> el objetivo de media anual para 2010 es de 25 µg/m<sup>3</sup> que se convertirá en límite a partir de 2015.

emisiones de NOx por kilómetro, lo que presumiblemente provocará un cambio de tendencia y que, en el futuro, las normas Euro 5 y 6 serán todavía más estrictas.

**Tabla 8.2. Evolución de los límites de emisión impuestos por las normas Euro (g/Km.)**

	<b>Euro 1</b> 07/1992	<b>Euro 2</b> 01/1996	<b>Euro 3</b> 01/2000	<b>Euro 4</b> 01/2005	<b>Euro 5</b> 01/2009
<b>Diesel</b>					
CO	2,72	1	0,64	0,5	0,5
HC+NOx	0,97	0,7	0,56	0,3	0,25
Nox			0,5	0,25	0,2
PM	0,14	0,08	0,05	0,025	0,005
<b>Gasolina</b>					
CO	2,72	2,2	2,3	1	1
HC	-	-	0,2	0,1	0,075
HC+NOx	0,97	0,5	-	-	-
NOx	-	-	0,15	0,08	0,06
PM	-	-	-	-	0,005

*Fuente: OSE, 2007.*

La Ley de Calidad del Aire establece las directrices de actuación para reducir las emisiones contaminantes en los núcleos urbanos en España, en línea con la legislación europea que marca unos valores límite, del mismo modo que unos plazos determinados a partir de los cuales su cumplimiento es obligatorio. Las Comunidades Autónomas deberán tomar medidas para garantizar una calidad mínima del aire y las ciudades de más de 250.000 habitantes deberán tener planes de reducción de la contaminación y mejora de la calidad del aire. Tanto Ayuntamientos como CCAA deberán considerar la contaminación atmosférica cuando aprueben sus planes urbanísticos y de ordenación del territorio.

### **C. OTROS IMPACTOS**

Existe otro tipo de impactos ambientales, como la construcción de nuevas autovías, autopistas y vías ferroviarias de alta velocidad, que conlleva un aumento del territorio ocupado por las infraestructuras del transporte. España sigue siendo uno de los países con menor ocupación del territorio (1,6%), todavía lejos del promedio comunitario (4,7%) y el ratio de territorio fragmentado por las infraestructuras en España (250 Km<sup>2</sup>) es inferior al de la media europea (130 Km<sup>2</sup>). No obstante, no conviene perder de vista que España cuenta con una mayor cantidad de entornos ambientales protegidos, que son más vulnerables a cualquier actividad que los fragmente.

Por otro lado, se ha acrecentado en los últimos decenios la ruptura del modelo de ciudad densa con fenómenos de fuerte dispersión urbana, desarrollos de baja densidad y proliferación de viviendas individuales o adosadas en la periferia. Esta dispersión urbana ha provocado un aumento en las distancias de desplazamiento y un incremento de la movilidad con el consecuente aumento de la congestión, el ruido y

los accidentes (véase Palmer y Riera, 2002 para una descripción de estas externalidades).

Como se decía al inicio de este capítulo, el coste de las externalidades del transporte puede llegar a representar el 10% del PIB español, tal y como se estima en la tabla 8.3 a partir de un estudio de las externalidades del transporte europeo (INFRAS/IVWW, 2000).<sup>68</sup> Los accidentes son la externalidad individual más costosa, valorada para el caso español en 17.600 millones de euros al año. Ahora bien, son superados por la suma de los costes de la contaminación sobre la calidad del aire y el cambio climático, que rondan los 31.000 millones de euros al año.

**Tabla 8.3. Estimación del coste de las externalidades del transporte**

	Costes totales en la UE-17 (M€/año)			Coste medio		Coste total en España (M€/año)		
	Pasajeros	Mercancías	Total	Pasajero (€/mil v-km)	Mercancías (€/mil ton-km)	Pasajeros	Mercancías	Total
Accidentes	136.000	19.290	155.290	35,1	11,5	13.749	3.886	17.635
Ruido	20.900	11.200	32.100	5,4	6,7	2.115	2.264	4.379
Calidad del Aire	67.300	62.600	129.900	17,4	37,4	6.816	12.637	19.453
Cambio Climático	59.000	35.400	94.400	15,3	16,2	5.993	5.474	11.467
Naturaleza y paisaje	8.940	5.510	14.440	2,3	3,3	901	1.115	2.016
Impactos urbanos	5.250	3.160	8.410	1,4	1,9	548	642	1.190
Procesos <i>upstream</i>	31.600	18.900	50.500	8,5	11,4	3.329	3.852	7.182
<b>Total</b>	<b>328.990</b>	<b>156.060</b>	<b>485.040</b>	<b>85</b>	<b>88</b>	<b>33.452</b>	<b>29.870</b>	<b>63.322</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de INFRAS/IWW (2004) y MMA (2005a).

## 8.3. El transporte de mercancías

Se ha comentado en el capítulo 3 la dificultad que encuentran los investigadores a la hora de analizar el consumo energético del transporte, por la ausencia de estadísticas desagregadas del transporte de mercancías y viajeros. Incluso cuando se tiene ese desglose, existen otras dificultades que impiden obtener una visión completa de la realidad del transporte en España. En primer lugar, la frontera entre el consumo energético para el desarrollo de una actividad productiva o para el transporte de viajeros no está clara. Los automóviles y furgonetas se usan indistintamente para esos dos fines, por lo que es difícil asignar a cada segmento sus consumos. En segundo lugar, no se dispone de información estadística sobre el tipo de mercancías transportadas por furgonetas. En tercer lugar, el transporte de mercancías puede ser realizado por la propia empresa o puede ser subcontratado. En el primer caso el consumo energético del transporte no se puede identificar fácilmente.

<sup>68</sup> Para estimarlo se ha aplicado el coste medio europeo a las cifras de transporte de viajeros y mercancías de 2003.

A pesar de estos inconvenientes, se dispone de información para realizar un diagnóstico general de la situación del sector. Las razones que suelen estar detrás del crecimiento del consumo energético del transporte de mercancías son el aumento de actividad de transporte de mercancías y el nivel de eficiencia.

### **8.3.1. Demanda de transporte**

El transporte de mercancías se suele medir en las estadísticas nacionales con el indicador de toneladas por kilómetro (ton-Km), que es el producto de la carga transportada y la distancia. Las toneladas transportadas dependen de la estructura productiva del país, del tipo de bienes transportados y de los mercados abastecidos. Por ello, en países donde la actividad agrícola o extractiva es importante, se presentan unos ratios mayores que en aquellos que concentran sus actividades en productos de mayor valor añadido. La distancia recorrida depende del grado de internacionalización del sector, de la extensión y características geográficas del país – que influyen en la elección del modo de transporte – y de los factores de carga de los vehículos (para países de grandes extensiones se puede utilizar más el ferrocarril y en el caso de la carretera el coeficiente de carga es mayor y por tanto la eficiencia energética mejor).

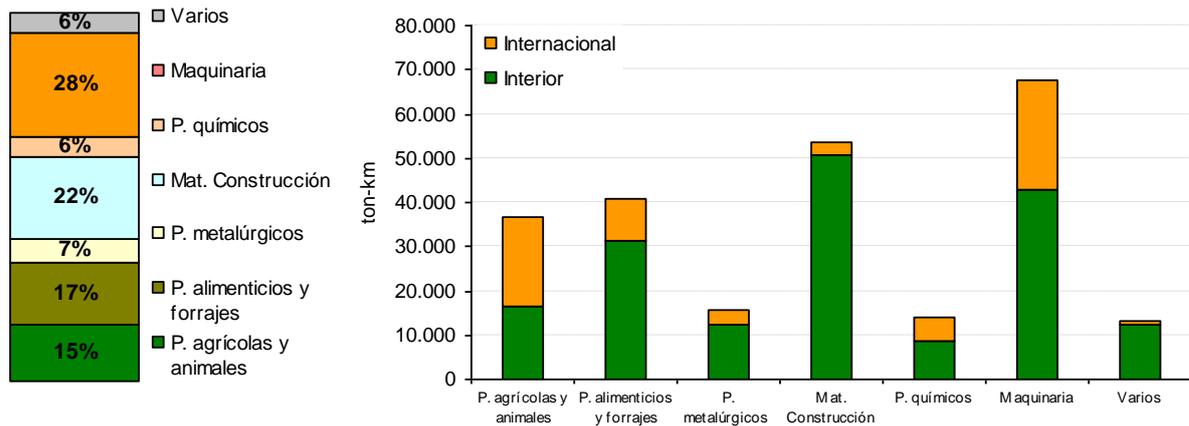
El transporte es una parte integral de la forma en la que se produce y se consume en cualquier país, y ha permitido llevar a cabo importantes modificaciones de los procesos productivos. Las razones estructurales del incremento del transporte de mercancías en España son el aumento de la población, los sistemas de logística *just in time*, el comercio electrónico y la distribución de productos intermedios. Detrás de estos incrementos se encuentra la dinámica empresarial, que divide los procesos entre varios centros productivos para maximizar las ventajas ofrecidas por cada uno de ellos – capital humano, costes de implantación o salariales, proximidad a empresas o mercados, etc –. Junto a esto, la adopción de sistemas de logística *just in time* requiere suministros más frecuentes y reducidos, que se entregan cuando se necesitan, dejando poco espacio para mejorar la eficiencia del transporte y los factores de carga.

Esta dinámica se ha visto acrecentada por la globalización, que deriva en una especialización productiva de los países y en el aumento generalizado del comercio internacional. El transporte internacional en camiones españoles ha aumentado un 190% entre 1995 y 2006, frente al incremento del 122% del transporte interior. Además, en el caso español, el incremento de la actividad se ha visto impulsado por la convergencia hacia niveles europeos de comercio intracomunitario, la localización geográfica, el aumento del tránsito a los países del Magreb y la distancia para acceder a los mercados europeos.

Otro aspecto relevante es que la demanda de transporte está centrada en mercancías de menor valor añadido: productos agrícolas, animales, alimentación y materiales de

construcción, como se aprecia en el gráfico 8.4. Esta demanda se destina principalmente al mercado interior (73%), en el que destaca el transporte interregional (48% del total), mientras que en el comercio internacional las exportaciones representan el 15% del total y las importaciones el 12%.

**Gráfico 8.4. Demanda del transporte de mercancías en España**



Fuente: MFOM, 2007.

Otro de los motivos que puede haber influido en el incremento del transporte son los precios de los combustibles, que son más reducidos que la media europea por su menor imposición y favorecen a la carretera frente a otros modos de transporte (tabla 8.1). Por ejemplo, como el gasóleo en España es un 25% más barato que en Francia, existen incentivos para que los camiones franceses reposten en España, incluso desviando sus rutas para ello, puesto que pueden llenar su tanque con suficiente carburante como para hacer entre 1.500 y 3.000 Km. Además, los impuestos que gravan los hidrocarburos presentan exenciones y devoluciones en un número significativo de las utilizaciones, especialmente las de carácter industrial. Finalmente, los costes del transporte constituyen una parte reducida de los costes totales de las empresas y la accesibilidad a mercados más lejanos y el tiempo cobran mayor importancia en los procesos. Por ello, las industrias presionan a los gobiernos para que reduzcan los cuellos de botella y los obstáculos que ponen en peligro la planificación de la producción, lo que se traduce en un aumento de las infraestructuras, que a su vez generan una mayor movilidad.

Por otro lado, las preferencias de los consumidores también tienen un impacto sobre el tipo de productos transportados y la distancia recorrida para su entrega. Por un lado, los cambios en la demanda y la naturaleza de los bienes demandados (alimentación, artículos perecederos, productos individualizados y frágiles) requieren una distribución puerta a puerta. Por otro, en algunos países como el Reino Unido se empieza a dar información sobre las distancias recorridas por el producto y sus emisiones correspondientes. En España en algunas actividades como la panadería se

están cambiando los sistemas de producción desde grandes centros de producción en masa hacia una producción más localizada y ajustada a los gustos locales. Sin embargo, estos cambios son simbólicos en el país, en el que los bajos costes de combustible incentivan un comportamiento irracional en términos medioambientales y de eficiencia energética de algunas empresas en la distribución de sus bienes intermedios (pero económicamente racional).

### 8.3.2. La eficiencia del transporte de mercancías

La intensidad del transporte se puede medir con varios ratios. El ratio ton-Km/€ mide la distancia recorrida de cada tonelada para generar un euro de VAB. En el capítulo 3 y 4 se utiliza la IE del transporte como tep/M€, para compararla con otros sectores. Finalmente, el ratio que refleja mejor la eficiencia energética del transporte de mercancías es el de tep/ton-Km.

La eficiencia energética del transporte en España depende de la energía necesaria para mover cada medio de transporte y de cómo se gestiona el transporte de mercancías en cada modo. Las variables que la condicionan son el tipo de vehículo empleado (ferrocarril, camión o furgoneta), el combustible utilizado, el tipo de trayecto (geografía, distancia, urbano, interurbano, etc.), la gestión de la empresa de transporte (flota de vehículos, viajes en vacío, etc.) y el tipo de conducción (comportamiento del conductor, tráfico, etc.).

La eficiencia energética de los modos de transporte ha mejorado en España, pero esta mejora ha sido ampliamente superada por el aumento de actividad. En la tabla 8.4 se muestran la evolución de la eficiencia para los distintos modos de transporte y su comparación con Europa.

**Tabla 8.4. Eficiencia energética de los distintos modos de transporte**

	Eficiencia Energética (tep/Mton-km)							UE15-2006	Mix modal	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006		ESP-06	UE15-06
Camión	77,9	74,8	71,9	69	66,3	63,7	62,4	68	85%	74%
Tren	33,3	35,8	38,5	41,5	44,6	47,9	49,4	17,5	4%	12%
Marítimo	44,5	45,1	45,8	46,5	47,2	47,9	48,3	19,7	11%	13%

*Fuente: Elaboración propia a partir de Repsol, 2009.*

El ferrocarril y el barco son los modos más eficientes, no obstante la mayor parte del transporte de mercancías se realiza por carretera (85%), que aunque es menos eficiente en términos energéticos y ambientales, satisface mejor las prioridades empresariales. Un dato interesante en este sentido es que el trayecto medio recorrido para el transporte de mercancías en la UE es de 110 Km., distancia en la que el ferrocarril y el barco son menos eficientes, ya que necesitan el complemento del

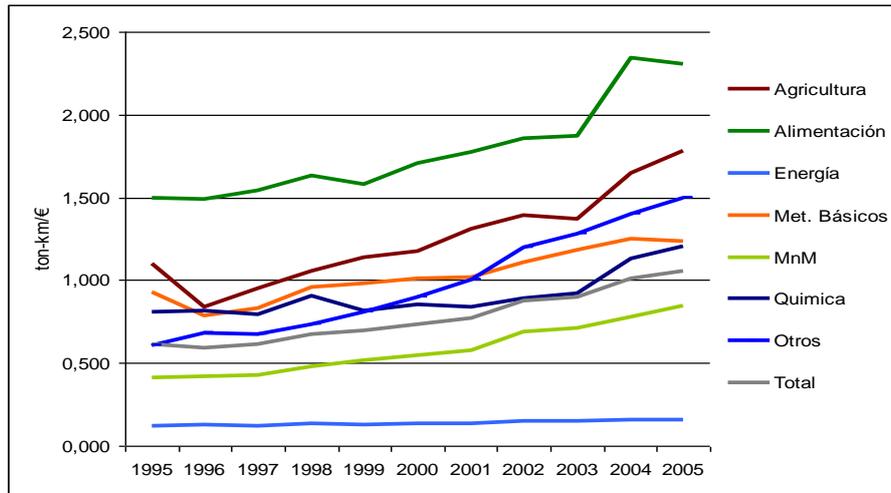
transporte por carretera para la carga y descarga (MMA, 2005a). Además, el transporte intermodal para distancias cortas aumenta el tiempo de entrega de la mercancía por la falta de estandarización de las unidades de carga o carencia de conexiones rápidas y cercanas. Por último, con esas distancias tan cortas, la eficiencia ambiental del transporte por carretera se reduce, puesto que los vehículos de bajo tonelaje son los más ineficientes. Un estudio reciente estima que un aumento de la distancia transportada del 10% generaría una mejora de la eficiencia del transporte de entre el 0,1% y 6,3% en España (Pérez-Martínez, 2009)

El incremento de actividad se ve reflejado cuando se analiza el ratio de ton-Km por euro de VAB generado, mostrado en el gráfico 8.5. El transporte es un servicio cada vez más demandado por las industrias españolas. Entre ellas destacan los productos agrícolas y la alimentación, que presentan mayores ratios de intensidad, por ser mercancías de reducida densidad y porque su transporte en camión está restringido por el volumen, no por el peso. Este incremento puede deberse a un aumento de la distancia recorrida o una disminución de la generación de valor. En el caso de los productos agrícolas, los datos muestran un incremento del transporte al extranjero (en 1995 el 28% del transporte de productos agrícolas se destinaba al extranjero; en 2006 el porcentaje asciende al 43%), para lo que tienen que recorrer más distancias. En el caso de la alimentación, el crecimiento del transporte internacional, tanto recibido como expedido, es mucho mayor (110% entre 1995 y 2006), lo cual ha aumentado su cuota sobre el total (desde el 14% en 1995 al 24% en 2006).

Otro aspecto que contribuye al aumento de la demanda de transporte de mercancías es al cambio gradual del transporte de materias primas (de mayor peso y menor volumen) al transporte de productos manufacturados. El sector que más crece es el de “otros” productos (un 184% en el período analizado) que recoge una variedad indefinida de mercancías (maquinaria, vehículos y otros productos manufacturados).

En general, en los países desarrollados hay pocas oportunidades de mejorar la eficiencia energética a través del cambio modal al transporte por ferrocarril (Kamakaté y Shipper, 2008). En España, los orígenes y destinos del transporte están tan dispersos que el ferrocarril no es una alternativa en muchos casos. Sin embargo se puede avanzar bastante en el área de logística, mejora en la distribución de bienes intermedios y en la optimización de la utilización de los camiones y furgonetas y sus capacidades de carga. La mejora de la logística incluye la optimización de los lugares de producción, carga y descarga, la congestión de tráfico y la calidad de las infraestructuras.

**Gráfico 8.5. Evolución de la intensidad del transporte de mercancías.**



*Nota: No se considera el VAB del sector terciario. Energía recoge el transporte de combustibles y el VAB del sector eléctrico y del sector transporte.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de MFOM, 2008 y INE, 2008.*

Otra cuestión importante es la gestión eficiente de las flotas de camiones, puesto que reducen el consumo energético y sus emisiones asociadas. En el caso español, el transporte profesional presenta una estructura de mercado muy atomizada en comparación con otros países de la UE con unas 130.000 empresas. Buena parte de estas empresas están constituidas por empleados autónomos, que cubren un tercio de todo el transporte por mercancías y que operan únicamente con uno o dos vehículos, lo que dificulta y genera un elevado movimiento de vehículos vacíos en viajes de retorno. En torno a 47% de las operaciones y un 26% de los kilómetros realizados en España fueron vacíos, lo que muestra el potencial de mejora de la eficiencia energética. Además, la ausencia de economías de escala reduce en estas empresas la posibilidad de adquirir la tecnología de vanguardia en eficiencia energética. Por último, otros aspectos que condicionan la eficiencia en el transporte por carretera son el estado y mantenimiento de las infraestructuras, su congestión y los hábitos de conducción.

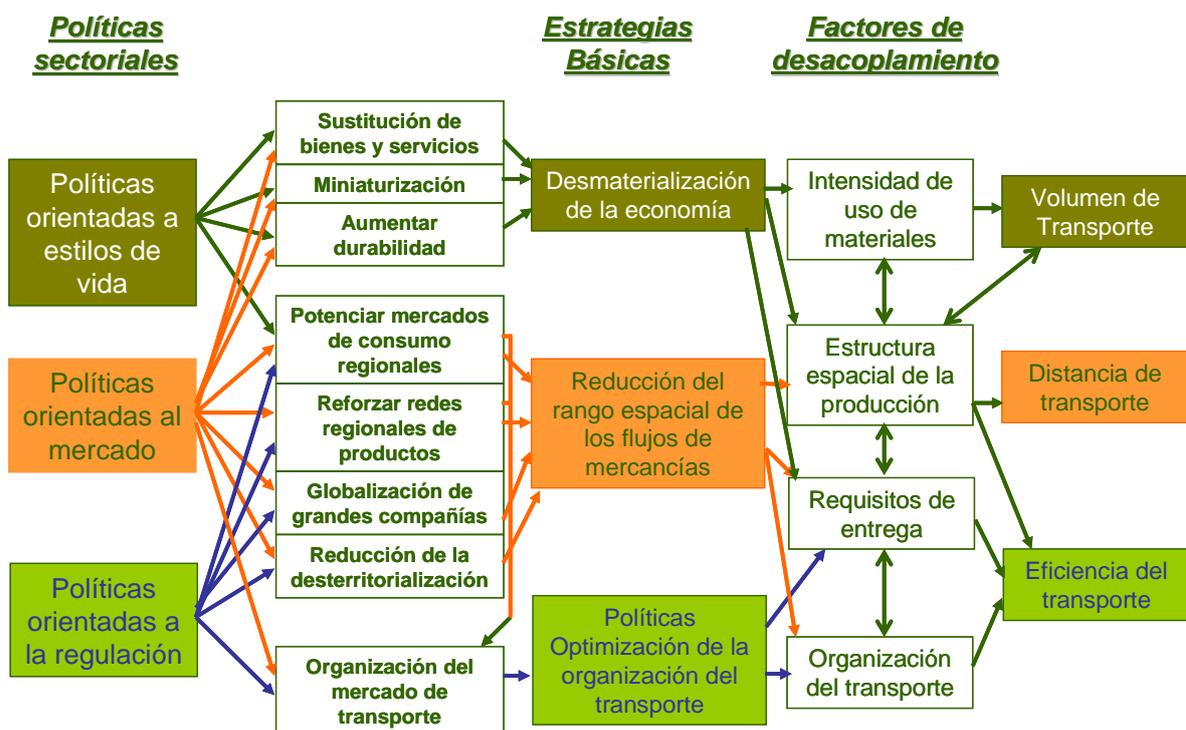
## **8.4. Medidas para mejorar la eficiencia energética del transporte de mercancías**

El mantenimiento de las tendencias actuales de crecimiento del transporte es incompatible con los principios de desarrollo sostenible. Los Gobiernos de la UE persiguen el denominado “transporte sostenible” con el objetivo de permitir un crecimiento económico y un bienestar individual sin causar perjuicios desproporcionados al medio ambiente y al consumo de recursos no renovables. En

este contexto uno de los objetivos de la política medioambiental es desvincular el transporte del crecimiento económico. 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 aumenta su renta per cápita, según predicen numerosos estudios.

Las medidas para alcanzar esta desvinculación en el transporte de mercancías 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. En el cuadro 1 se representan las políticas dirigidas a apoyar estas estrategias y los resultados buscados: reducir el volumen, reducir las distancias y aumentar la eficiencia (tanto en la logística como de los vehículos).

**Cuadro 8.1. Estrategias para desacoplar el transporte de mercancías del crecimiento económico**



Fuente: OCDE (2006b).

## A. MEDIDAS ESTRUCTURALES

En primer lugar, la desmaterialización puede ser fruto de la innovación tecnológica o de cambios estructurales. La primera lleva a un aumento de la eficiencia en el uso de los materiales, a través de mejoras en los procesos o en los productos. Los cambios estructurales, por su parte, tienen un impacto en el consumo de recursos por los cambios en los insumos de los procesos productivos, los pesos de las ramas de

actividad en la economía y la evolución del consumo provocada por los cambios en el estilo de vida. Algunas de las políticas destinadas a este último aspecto están encaminadas a aumentar la durabilidad de los bienes y reducir su tamaño, entre otras medidas.

En segundo lugar, el transporte, como demanda asociada a la de otros bienes y servicios, está determinado por la distribución espacial de la producción y consumo, que a su vez condiciona la distancia y los modos de transporte utilizados. Por ello, las políticas deberían destinarse a contrarrestar la tendencia de incremento de distancias recorridas, con el reforzamiento de mercados regionales. No obstante resulta difícil frenar por motivos energético-ambientales una tendencia de crecimiento de la internacionalización de las industrias que buscan mercados extranjeros para crecer. En este sentido la clave está en la exportación de productos de mayor valor añadido.

La solución de los problemas del transporte es mucho más complicada que la internalización de los costes ambientales, puesto que en muchos casos la incidencia del transporte en el precio final del producto no es el factor determinante para utilizar un modo u otro. En este sentido, un caso interesante es el del transporte de cítricos de la Comunidad Valenciana analizado en un estudio de la OCDE. Sus conclusiones, que se pueden trasladar al resto de sectores, establecen que, para disociar el crecimiento de este sector y la utilización del transporte, las acciones deben dirigirse a aumentar el valor añadido de los productos, mediante la creación de una imagen de marca de producto de calidad y alejándose de las estrategias basadas en el precio y, al mismo tiempo, concentrar el volumen de envíos a grandes superficies para optimizar los flujos de materiales (MMA, 2005b).

## **B. EFICIENCIA DE OPERACIONES**

La estrategia de optimizar la organización del transporte es el aspecto en el que más se ha trabajado en los últimos años. Las medidas se pueden agrupar en tres bloques: optimizar y racionalizar la utilización, aumentar las alternativas al transporte por carretera y mejorar la eficiencia de todos los medios de transporte.

La optimización del transporte, que tiene fuertes vínculos con las dos estrategias anteriores, depende del desarrollo de estrategias integrales de logística, que buscan reducir los volúmenes de producción, reagrupar los distribuidores, reordenar espacialmente las relaciones entre compañías y desarrollar tecnologías de información. En este sector se debe fomentar la profesionalización de los servicios del transporte y mejorar la gestión de las flotas de transporte por carretera para reducir los trayectos en vacío.

En este área las TIC están jugando un papel importante, y pueden generar ahorros de energía y mejoras en la eficiencia energética del transporte de mercancías, mediante la

sustitución de productos y actividades que suponen un consumo energético por otras equivalentes de bajo impacto (por ejemplo la banca electrónica, el tele-trabajo o las videoconferencias) y la utilización de sistemas logísticos avanzados para la optimización del transporte integral de mercancías. Estos incluyen empaquetado, coordinación de diversos modos de transporte, entrega al cliente y gestión de residuos. La optimización del transporte supone reducir la capacidad de almacenamiento, minimizar las distancias recorridas y aumentar su factor de carga (RAI, 2009).

Las alternativas al transporte por carretera se traducen en inversiones en otros modos de transporte, principalmente ferrocarril y, concretamente en España, a través del Programa Estratégico de Infraestructuras de Transporte (PEIT). Otras medidas complementarias que se enmarcan en este bloque son: dotar de capacidad suficiente a los corredores más importantes de la red de transporte ferroviario de mercancías; acometer acciones para mejorar su operatividad; garantizar una buena accesibilidad ferroviaria a los nodos y plataformas logísticas; impulsar la liberalización ferroviaria; y desarrollar las infraestructuras de conexión intermodal. La puesta en marcha de las “autopistas del mar”, como alternativa competitiva al transporte terrestre de mercancías de larga distancia, puede ser una herramienta que ayude a aliviar la fuerte presión que experimenta el transporte por carretera, especialmente de cara a las exportaciones, aunque se debe hacer un esfuerzo por reducir el impacto ambiental del transporte marítimo (EEDS, 2007).

Por otro lado, se debería mejorar la eficiencia de todos los modos de transporte, incluyendo los modos más eficientes.

Un área en el que las actuaciones de los Gobiernos han sido prácticamente inexistentes (a excepción de Japón) ha sido la mejora de la eficiencia de los camiones y furgonetas. La Comisión Europea en el marco de los objetivos de reducción de las emisiones de vehículos nuevos ha planeado objetivos para que las furgonetas en 2012 solo emitan 175 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro (gr./Km.) y 160 gr./Km. en 2015, frente a los 201 gr/Km. en 2001, por el momento no se han planteado objetivos para los camiones ni se plantean alternativas tecnológicas al transporte convencional (furgonetas híbridas).

En el caso del ferrocarril existe potencial de mejora en el peso, los coeficientes aerodinámicos, el frenado regenerativo y la mejora en los sistemas de propulsión. Para aumentar su utilización y sustituir parte del transporte de mercancías de larga distancia por carretera en viajes de 500 a 1.000 Km se necesitan fuertes inversiones en infraestructura y mejoras logísticas.

## **8.5. El transporte de viajeros**

## 8.5.1. Demanda de movilidad

La movilidad de viajeros ha crecido tanto en desplazamientos diarios locales como en los no cotidianos (viajes a media y larga distancia). Los españoles realizan viajes cada vez más frecuentes y más largos. Los factores que determinan el consumo energético del transporte de viajeros y sus emisiones asociadas son: los factores estructurales, la actividad, el modo utilizado y las tecnologías utilizadas.

### **A. FACTORES ESTRUCTURALES**

Detrás del incremento de la movilidad se encuentran la planificación urbanística, los factores demográficos y la evolución de la economía. En primer lugar, las necesidades de transporte están condicionadas por la densidad y estructura espacial del entorno de construcción, así como la ubicación, extensión y naturaleza de la infraestructura del transporte. Las tendencias recientes de urbanización en España hacia modelos europeos implican la construcción de viviendas en la periferia de las ciudades sin tener en cuenta la provisión de servicios de movilidad, lo que en principio conduce a un aumento de las emisiones de este sector. En 2006, un 52% de la población española vivía en 129 municipios de más de 50.000 habitantes y la evolución en el tiempo muestra un aumento superior de la población en estos municipios (INE, 2007) que viven ahora de forma más dispersa.

En segundo lugar, el crecimiento demográfico, estancado a principios de la década de los 90, se revitalizó con la llegada de inmigrantes, que ya suponen un 10% de la población española y han impulsado la movilidad cotidiana.

En tercer lugar, la sociedad española se ha enriquecido gradualmente de forma significativa, lo cual, unido al incremento de la población, ha impulsado la compra de vehículos: en 2005 había 21 millones de vehículos en circulación<sup>69</sup>, lo que significa que hay cerca de 480 coches por cada mil habitantes, cifra próxima a la media europea (500 vehículos por mil habitantes). Los datos muestran que existe una fuerte correlación positiva entre el incremento de renta y la matriculación de vehículos, como se aprecia en el gráfico 8.6. La disponibilidad de vehículos reduce las tasas medias de ocupación y revierte en un aumento del consumo energético y las emisiones por kilómetro.

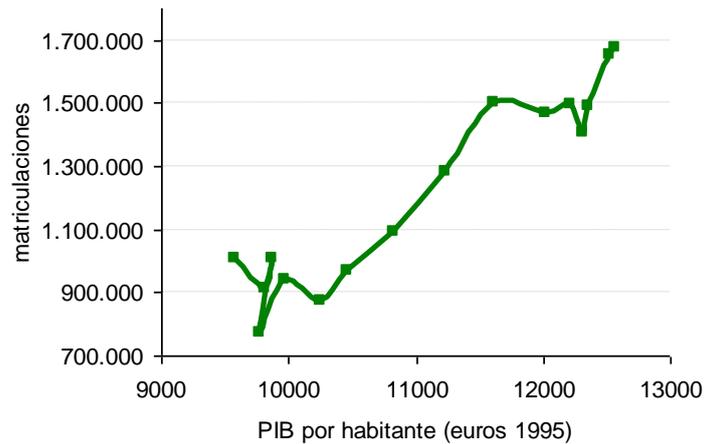
Con una mayor renta las consideraciones económicas se vuelven menos importantes en las decisiones de movilidad. De hecho varios estudios han demostrado que las personas (al margen de su país y ciudad de residencia) consumen un porcentaje muy estable de su tiempo y presupuesto para el transporte (Schäfer, 2000), que en España

---

<sup>69</sup> Si se consideran las bajas no notificadas del parque oficial que proporciona la Dirección General de Tráfico la cifra, estimada por el IDAE, asciende a 15 millones (IDAE, 2006a).

es de 53 minutos y entre el 12 y el 15% del presupuesto familiar (MMA, 2005a). Un aumento de la renta implica un aumento de recursos para mayor movilidad cotidiana, pero sobre todo de aquella asociada al ocio, lo que se traduce a su vez en un aumento del transporte por carretera y aéreo. La mejora de las infraestructuras, por su parte, permite reducir el tiempo de desplazamiento y aumentar la distancia recorrida.

**Gráfico 8.6. Evolución de las matriculaciones de vehículos y de la renta per cápita en España**



*Fuente: Elaboración propia.*

## **B. ACTIVIDAD**

La actividad, esto es el número de viajeros por kilómetro, depende del número de viajes realizado, de la distancia recorrida y de la ocupación de los vehículos. Las estadísticas sobre el transporte de viajeros son muy limitadas. Tan solo la Encuesta Movilia, realizada por el Ministerio de Fomento cada 5 años, aporta información interesante para caracterizar los viajes realizados por la población residente en España. La Encuesta se realiza en dos fases. En la primera se estudia las características de la movilidad “cotidiana”, es decir, la que se realiza por cualquier motivo en un día cualquiera. En la segunda fase se estudia la movilidad de larga distancia (más de 50 Km.) y la movilidad que implica pernoctación en una localidad distinta a la de residencia (MFOM, 2009).

Por lo que se refiere a la movilidad cotidiana, la comparación de las dos últimas encuestas muestra que la movilidad motorizada ha aumentado un 41% entre 2000 y 2006. La mayor parte de la movilidad cotidiana se hace a pie y entre los modos motorizados el coche sigue dominando con un 83% de los trayectos y crece más que otros modos de transporte (tabla 8.5).

**Tabla 8.5. Modo utilizado para la movilidad cotidiana semanal.**

<i>miles viajes</i>	<b>2000</b>	<b>2006</b>	<b>Crec (%)</b>
Coche	242.865	347.021	43%
Autobus/Metro	46.747	61.633	32%
Tren	7.240	8.872	23%
A pie	166.605	368.657	
Otros	16.527	16.513	
<b>Total</b>	<b>479.984</b>	<b>802.696</b>	
<b>Motorizada</b>	<b>296.852</b>	<b>417.526</b>	<b>41%</b>

Nota: Las estadísticas de la movilidad a pie no son comparables puesto que en la Encuesta de 2006 se recogen los viajes de más de 5 minutos, mientras que en la de 2000 son los de más de 10 minutos.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Encuestas Movilia (MFOM, 2002 y 2009).*

Los encuestados se desplazan una media de 2,6 trayectos al día, de los que la mitad se realiza con un modo motorizado. Un 38% de los trayectos tienen como motivo ir a trabajar o a estudiar y similar porcentaje de los trayectos se destina a ocio, visitas a familia y amigos y paseos (tabla 8.6).<sup>70</sup>

**Tabla 8.6. Motivo de la movilidad cotidiana semanal (miles de viajes)**

	<b>2006</b>	<b>2000</b>	<b>Crec (%)</b>
Trabajo	109.615	83.380	31%
Estudios	43.043	28.612	50%
Compras	56.336	21.553	161%
Acompañar niños	34.113	18.915	80%
Ocio	63.012	28.910	118%
Paseos	55.212	22.574	145%
Visitas	45.272	20.570	120%
Volver a casa	357.187	224.050	59%
Otros	38.905	31.416	24%
<b>TOTAL</b>	<b>802.695</b>	<b>479.980</b>	<b>67%</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Encuestas Movilia (MFOM, 2002 y 2009).*

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

<sup>70</sup> Se consideran trayectos de ida y vuelta, en los que la vuelta está incluida en la categoría de volver a casa.

automóvil ligeramente cuando las distancias oscilan entre 100 y 1000 Km., como se aprecia en la tabla 8.7.

**Tabla 8.7. Distancia de los viajes y modos de transporte utilizados.**

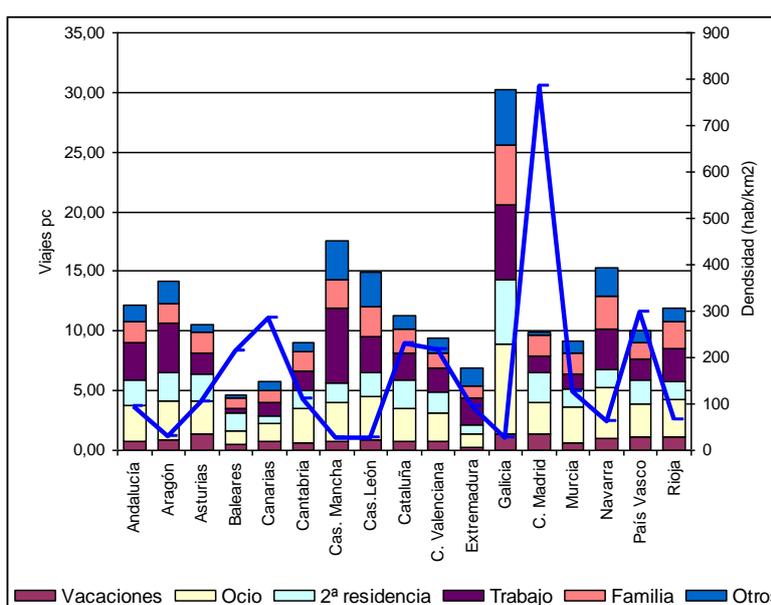
	Total	51 - 100	101 - 500	501 - 1000	> 1000
Coche	78%	86%	78%	45%	3%
Autobús	8%	7%	10%	9%	2%
Tren	5%	5%	6%	7%	1%
Avión	6%	0%	3%	35%	93%
Otros	2%	1%	2%	4%	2%
<b>Total</b>	<b>363.714</b>	<b>186.092</b>	<b>147.248</b>	<b>17.852</b>	<b>12.523</b>

Unidad: Miles de viajes

Fuente: Elaboración propia a partir de Encuestas Movilia (MFOM, 2002 y 2009).

El motivo principal de los viajes es el ocio (33% de los viajes), acudir a la segunda residencia (15%), visita a familiares o amigos (17%) y vacaciones (13%). Cuando se analizan las diferencias por Comunidades Autónomas (gráfico 8.7) se obtienen algunas conclusiones diferenciales. Así, los gallegos son con diferencia los que más viajan (3 veces más que la media nacional) y lo hacen por los mismos motivos mencionados. Los residentes en las islas no viajan tanto, por cuestiones de índole geográfica. Finalmente, la combinación de densidad de población y/o renta per cápita genera mayores desplazamientos. Así, en las Comunidades con densidades bajas como Castilla la Mancha y Castilla y León, Galicia, Aragón y Navarra se viaja más. Por otro lado esto también sucede, aunque no de una forma tan pronunciada, en las Comunidades con mayor renta per cápita (País Vasco, Navarra y Cataluña).

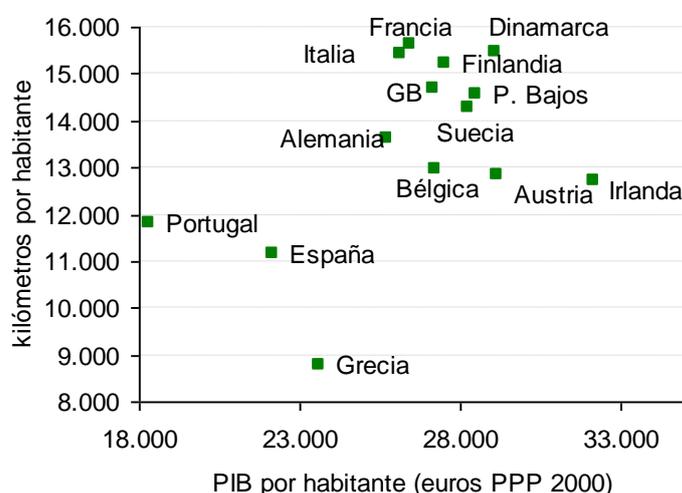
**Gráfico 8.7. Motivos de viaje por Comunidades Autónomas y densidad de población.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Encuestas Movilia (MFOM, 2002 y 2009).

A pesar de los crecimientos de la movilidad, ésta se sitúa todavía en término medio por debajo de la mayoría de los países de la UE15 (gráfico 8.8).

**Gráfico 8.8. Comparación de los kilómetros recorridos y de la renta por habitante en la UE15**



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

### **C. MODO DE TRANSPORTE**

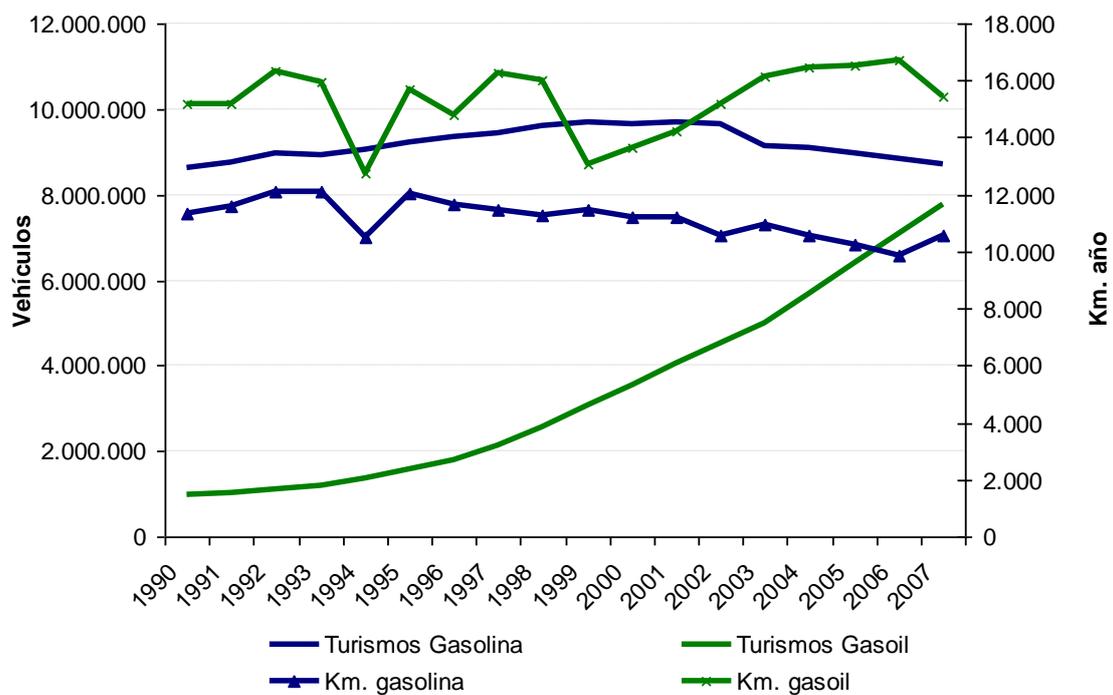
Para cubrir esta movilidad creciente los españoles utilizan mayoritariamente el vehículo privado. Su utilización es mayor en la movilidad no cotidiana (78%) que en la cotidiana (43%)<sup>71</sup> y su consumo energético asciende al 42% del consumo en carretera, tras crecer un 77% entre 1990 y 2006.

Los vehículos diésel representan ya el 40% de los vehículos en circulación y representan el 70% de los turismos matriculados al año (gráfico 8.9). España es, tras Francia, uno de los países en el que el proceso de dieselización ha sido más pronunciado. Estos vehículos se utilizan de forma más intensiva con un promedio de 15.500 Km anuales frente a los 11.200 Km de los vehículos de gasolina. Los motivos que explican esta mayor distancia recorrida son, en primer lugar, los menores precios como consecuencia del incentivo fiscal, que se traduce en España en un menor impuesto de matriculación para vehículos y combustible diésel, bajo el pretexto de una mayor eficiencia. En segundo lugar, el comprador de un vehículo diésel tiene expectativas de una mayor utilización, en especial en el caso del transporte profesional (taxistas, vendedores, etc.) con una conducción de más de 60.000 Km. al año. En tercer

<sup>71</sup> En este porcentaje se contabiliza la movilidad no motorizada, sin ella el porcentaje sería del 83%. En el año 2006 la movilidad en coche representó el 51% de la movilidad cotidiana, inferior a la de 2000 porque se consideran los trayectos a pie superiores a 10 minutos, frente a los 5 minutos de la Encuesta más reciente.

lugar, las mejoras tecnológicas de los vehículos diésel a finales de los 90, la reducción de los diferenciales de precios con los de gasolina, así como los menores impuestos en la adquisición y uso han incitado a comprar vehículos de mayor potencia y más grandes, que conducen a un mayor consumo energético. Es el denominado “efecto rebote” de la compra del vehículo, que se une al efecto rebote provocado por el aumento de la renta disponible. Así, la mayor eficiencia genera un ahorro en combustible y un aumento de la renta disponible que genera un aumento de la movilidad. Los estudios realizados en otros países europeos calculan que se produce un incremento de la distancia recorrida de entre un 1% y un 5% cuando los precios se reducen en un 10% (Johansson y Schipper, 1997). Finalmente, otros factores que influyen en la mayor distancia recorrida de los vehículos diésel son que se utilizan más porque son nuevos y por cuestiones de fiabilidad (véase Schipper et al., 2002, para un análisis más detallado de estos factores).

**Gráfico 8.9. Parque de vehículos en España y distancia recorrida.**



Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE, 2009.

Por lo que se refiere al efecto rebote, no existe en la literatura un consenso sobre su magnitud en su efecto directo. Algunos autores lo consideran insignificante, mientras que otros creen que puede superar completamente los beneficios de las medidas de eficiencia energética. Un estudio del caso alemán pone de manifiesto que en el caso del transporte este efecto puede alcanzar entre el 57 y el 67%, esto es que por una mejora de la eficiencia energética de 100, tan sólo se reduce el consumo en 33 o 43 (Fronedel, 2007).

La fiscalidad energética aplicada en España no ha sido acertada en términos de eficiencia energética y ambiental y no favorece una asignación óptima de recursos, como se muestra en el siguiente ejemplo. En la tabla 8.8 se compara el modelo de coche diésel más vendido en España en los últimos años con su homólogo de gasolina, mostrándose los impuestos de cada uno, sus consumos energéticos y sus emisiones. Las conclusiones de este análisis son que la diferencia de precios de los modelos se reduce con un impuesto de matriculación más favorable y sólo se necesitan conducir 2.560 Km. más al año con el diésel para que sea más rentable, puesto que el gasóleo es un 7% más barato que la gasolina. Ahora bien, la ventaja fiscal del gasóleo sobre la gasolina no se sustenta en motivos medioambientales, puesto que el contenido energético de un litro de diésel es mayor que el de gasolina y su consumo genera más emisiones por cada kilómetro recorrido. Finalmente, los vehículos diésel se conducen más kilómetros de media que los de gasolina, lo cual supera con creces el mejor rendimiento energético del motor diésel, por lo que en su conjunto los vehículos diésel generan 2,8 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, que es media tonelada más que los de gasolina.<sup>72</sup>

**Tabla 8.8. Comparación de costes entre vehículo diésel y gasolina<sup>73</sup>**

	<b>Diésel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diferencia</b>
<b>Precio antes de impuestos</b>	15.561	13.547	2.014
<b>Impuesto matriculación</b>	0,07	0,12	-0,05
<b>IVA</b>	0,16	0,16	0,00
<b>Total impuestos</b>	2.569	3.793	-1.224
<b>PVP</b>	18.130	17.340	790
<b>Precio € por litro (3T2005)</b>	0,927	0,999	-0,072
<b>Consumo Lab. (l/100km)</b>	5,2	7,4	-2,2
<b>Consumo Real (l/100km)</b>	6,2	8,9	-2,6
<b>Coste (€/100 km)</b>	5,784	8,871	-3,087
<b>Emisiones Lab. (gramos CO<sub>2</sub>)</b>	139	175	-36
<b>Emisiones Real (gramos CO<sub>2</sub>)</b>	167	210	-43
<b>Emisiones por vehículo (ton CO<sub>2</sub>)</b>	2,8	2,3	0,519
<b>Distancia media (km)</b>	16.624	10.732	5.892

*Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por ANFAC (2007) y Energy Prices and Taxes (IEA, 2008b).*

Estas estimaciones demuestran que la ventaja fiscal del diésel sobre la gasolina, tanto en el impuesto de matriculación como en el de combustibles, ha generado el efecto

<sup>72</sup> Se ha considerado el consumo energético y las emisiones de la conducción real, que son un 20% superiores a las que se indican en las especificaciones técnicas por el mayor consumo incurrido en circunstancias reales como son los atascos, equipamiento, la velocidad y el aire acondicionado, entre otros.

<sup>73</sup> Los vehículos comparados son el modelo diésel Megane Expression 1,9 DCI de 1.870 cm<sup>3</sup> y el de gasolina Megane Expression 1,8 16V Expresión de 1.783 cm<sup>3</sup> y sus precios corresponden al año 2005.

contrario al objetivo perseguido (mejorar la eficiencia y reducir el consumo total respecto al escenario de referencia), puesto que ha inducido, por el efecto rebote, a un mayor consumo y se han generado mayores emisiones. Por ello, resulta aconsejable reducir las diferencias impositivas entre los vehículos y combustibles diésel y gasolina, como ya están haciendo otros países europeos.

## 8.5.2. Eficiencia energética

En términos generales, el nivel medio de eficiencia de los vehículos en España, que depende de la antigüedad, el uso, el tamaño y el peso, es de 43,6 tep por millón de viajeros-kilómetro (tep/Mviaj-Km), pero esta cifra es bastante superior a la de la UE15 y a las alternativas del tren (24 tep) o el autobús (5 tep). Además, las mejoras de eficiencia de los vehículos, a pesar de ser significativas (tabla 8.9), han sido ampliamente superadas por el aumento de la distancia recorrida.

**Tabla 8.9. Eficiencia energética de los distintos modos de transporte de viajeros.**

	Eficiencia Energética (tep/Mviaj-km)							UE15-2006
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Aéreo	108,8	103,9	93,6	91,5	92,4	95,9	95	125,7
Automóvil	46	45,6	45,2	44,8	44,4	44,1	43,6	37
Tren	18	19,1	20	21,1	22,2	23,3	23,8	9,7
Autobús	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	5,2	5,1	8,1

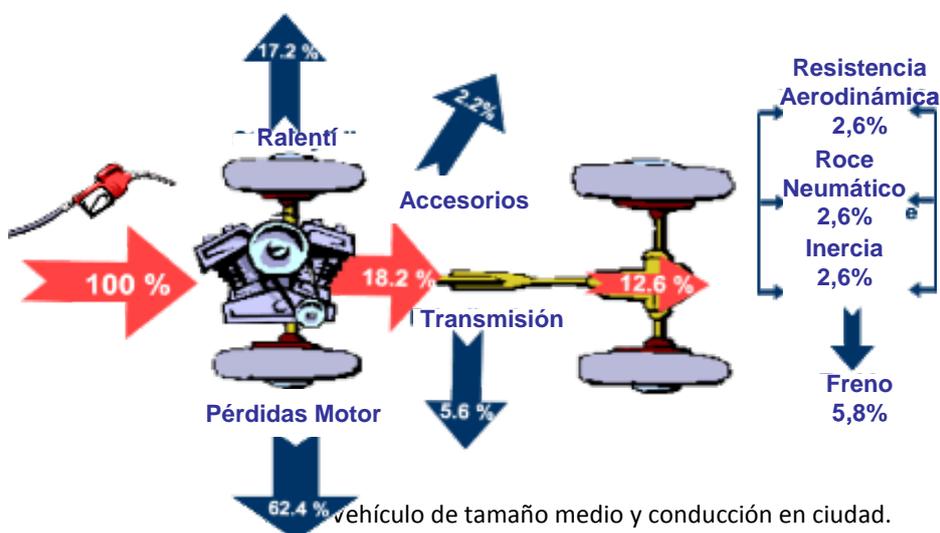
*Fuente: Repsol, 2009.*

Los expertos consideran que los desarrollos tecnológicos pueden afectar al consumo energético del transporte a través de las potenciales mejoras en los vehículos, la creación de otro tipo de vehículos, la mayor penetración de otros combustibles y la optimización de las infraestructuras.

El transporte en vehículo con motor de combustión interna es claramente ineficiente en términos energéticos. Como se aprecia en el cuadro 8.2 sólo un 12,6% del combustible se usa para mover el vehículo y utilizar sus accesorios. Existe todavía potencial de mejora de los vehículos convencionales en motores de combustión interna optimizando la conversión del combustible a través de mejoras en la eficiencia de la transmisión, recapturando las pérdidas energéticas, reduciendo las cargas del vehículo, mejorando la aerodinámica y la resistencia, reduciendo las pérdidas en la aceleración del vehículo o subida de cuestas, y disminuyendo el peso de los accesorios

(véase Kobayashi et al., 2009, para una descripción detallada de las alternativas tecnológicas para la mejora de la eficiencia).

**Cuadro 8.2. Consumo energético medio de un vehículo de gasolina**



Fuente: Elaboración propia a partir de OTA (1995)

Los expertos estiman que un vehículo medio utiliza un 20% del combustible inicial para superar la resistencia de los neumáticos y un 10% para la utilización de los accesorios. En estas áreas existe un amplio potencial de mejora con importantes ahorros energéticos (véase IEA, 2007 para un mayor detalle de los ahorros potenciales y las recomendaciones de política energética).

**Tabla 8.10. Venta de vehículos por nivel de emisiones en España**

Emisiones CO2	2007 (% total)	2008 (% total)
<=120	175.171 11%	214.457 18%
>120 Y <= 140	417.664 26%	278.700 24%
>120 Y < 160	874.139 54%	644.295 55%
>=160 Y < 200	418.054 26%	233.918 20%
>= 200	144.487 9%	65.244 6%
<b>Total</b>	<b>1.614.835 100%</b>	<b>1.161.176 100%</b>

Fuente: ANFAC (2009)

Finalmente, la mejora de la eficiencia global en España dependerá de la cantidad de vehículos eficientes que se vendan y de la medida en que estos vehículos sustituyan a otros vehículos. La modificación del impuesto de matriculación con criterios ambientales, que se analizará más adelante, la escalada de precios del petróleo, la coyuntura económica y la preocupación creciente por el cambio climático parecen en conjunto haber hecho que las ventas de vehículos más eficientes y de bajas emisiones aumente considerablemente y que se reduzcan a la mitad las ventas de los vehículos más contaminantes, como se aprecia en la tabla 8.10. La reducción de emisiones total

dependerá de la distancia recorrida por cada vehículo. Se debe tener en cuenta que probablemente se producirá cierto efecto rebote en los vehículos de menores emisiones por su menor consumo por Km.

## 8.6. Medidas para mejorar la eficiencia en el transporte de viajeros

Desde una perspectiva global, el coste y la eficiencia de reducir las emisiones del transporte es relativamente más caro que en otros sectores. No obstante existen medidas de bajo coste para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además el coste de inacción en el sector es alto por el riesgo de bloqueo en tecnologías e infraestructuras intensivas en carbono. Por otro lado, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> tiene beneficios secundarios en la reducción de la congestión, la calidad del aire, los accidentes de tráfico y la dependencia energética.

**Cuadro 8.3. Estrategias para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros**



*Fuente: Elaboración propia.*

Como se ha comprobado en el diagnóstico anterior son necesarios cambios tecnológicos, de infraestructuras y de comportamiento para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones del transporte de pasajeros por carretera. No existe una solución

única para el problema del transporte y las acciones deben adoptarse desde un enfoque integrado en el que empresas, Administraciones y ciudadanos tienen un papel que desempeñar. La mayor parte de las actuaciones de los Gobiernos se deben centrar en optimizar el sistema de transporte, incentivar la mejora de la eficiencia de todos los modos de transporte y fomentar cambios de comportamiento. No obstante, dados los fuertes incrementos de movilidad y de emisiones mostradas y los objetivos de reducción de emisiones asumidos y necesarios a largo plazo, los Gobiernos deben emprender medidas más radicales que las que se han venido aplicando.

Las principales estrategias en esta área pasan por maximizar la eficiencia, incrementar la accesibilidad (y reducir la movilidad) y cambiar el comportamiento. Para ello los Gobiernos cuentan con los siguientes instrumentos:

- Adoptar un enfoque integral en la planificación urbanística y laboral y facilitar el acceso a modos de transporte más eficientes. La clave está en poner un mayor énfasis en reducir la necesidad de movilidad a través de políticas de acercamiento del ciudadano a las actividades (trabajo, escuela, ocio, etc.).
- Regulación para restringir el uso de determinados vehículos motorizados, imponer estándares a los vehículos y combustibles, etc.
- Instrumentos económicos que desincentivan la utilización de ciertos modos de transporte e incentivan el uso de modos y combustibles alternativos.
- Información para aumentar el conocimiento y la concienciación sobre la movilidad sostenible que lleve a cambios en el comportamiento y un cambio modal, así como la mejora en los hábitos de conducción que reduzcan el consumo energético de los vehículos.

#### **A. MAXIMIZAR LA EFICIENCIA**

Para mejorar la eficiencia en el transporte particular se deben fomentar mayores índices de ocupación y mejorar la eficiencia de los vehículos. Para lo primero las medidas se deben centrar en crear carriles para vehículos de alta ocupación, el impulso del uso compartido del coche y el desarrollo de políticas de gestión de la demanda.

Para mejorar la eficiencia de los vehículos la Unión Europea está liderando una batalla para reducir las emisiones por kilómetro de los nuevos vehículos, con la imposición de estándares más estrictos. El objetivo planteado por la Comisión Europea en enero de 2007 es que las emisiones medias de los vehículos matriculados en 2012 no excedan de 120 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro y un objetivo tentativo para 2020 de 95 gr/Km. Estos objetivos fueron considerados por los fabricantes bastante ambiciosos si se

recuerda que en 1995 las emisiones en España eran de 175 gr/Km y en la actualidad son de 153 gr/Km. Para alcanzar el objetivo de 2012, los fabricantes deberán vender vehículos que en media no superen los 130 gr/Km. Además se deberán aportar otros 10 gr/Km de reducción, a través de avances en la eficiencia de componentes de los vehículos, en mejorar la calidad de los carburantes, así como en un mayor uso de los biocarburantes.

A pesar de las reticencias iniciales, los fabricantes de coches se han lanzado a anunciar y fabricar coches “ecológicos” de bajas emisiones y sus ventas, como se ha visto en la tabla 8.10, han aumentado considerablemente tras la aprobación de la nueva normativa del impuesto de matriculación. La tasa de sustitución de vehículos en España se sitúa en torno al 10%, por lo que se tardarán 10 años en renovar todo el parque de vehículos y hacerlo más eficiente.

Además, debe tenerse en cuenta que la eficiencia de los vehículos en carretera es diferente a la que se produce en el laboratorio por las condiciones climáticas, el comportamiento del conductor, el tráfico y los accesorios en el vehículo. Para que se reduzca esa diferencia se han planteado modificaciones en los test de laboratorio y una armonización internacional (véase IEA, 2008c).

Una de las principales maneras de mejorar la eficiencia energética de los vehículos es la fabricación de coches más ligeros: una reducción del 10% en el peso de los vehículos supone una mejora de la eficiencia energética de entre un 4 y 8% dependiendo de si se reduce el motor manteniendo el mismo rendimiento. Dentro de los materiales utilizados predomina el acero (alrededor del 70% del peso del vehículo). Sus sustitutos más frecuentes son el aluminio y el plástico. El aluminio es igual de fuerte con la mitad de peso que el acero, pero su penetración es todavía reducida (100 Kg. por vehículo de media). El uso de plásticos ha aumentado hasta alcanzar el 8% del peso del vehículo (100-120 Kg.), aunque su crecimiento se ha visto reducido por los problemas para su reciclaje (Kobayashi et al., 2009). Una de las cuestiones clave en la renovación del parque automovilista es que los consumidores evolucionen desde una preferencia por las prestaciones (que suponen un mayor peso) hacia otra por la eficiencia.

El establecimiento de objetivos a medio y largo plazo otorga a la industria un marco predecible y tiempo para el desarrollo de nuevas tecnologías. No obstante, esta medida será insuficiente para compensar el aumento del número de vehículos y de la movilidad. Una verdadera apuesta de reducción de emisiones, que aliviaría también la dependencia energética del país, es la sustitución de los carburantes de locomoción por electricidad descarbonizada, con coches híbridos que se enchufen a la red y coches eléctricos.

La eficiencia de un vehículo de combustión interna con gasolina es del 18% y 23% para el diésel, mientras que en el vehículo eléctrico ronda el 65-75%. Esto hace que algunos

vehículos sean entre 3 y 4 veces más eficientes en sus versiones eléctricas que las tradicionales.

Las principales ventajas de los coches eléctricos son su mayor eficiencia energética, la reducción total de la contaminación local y, en caso de aplicar la captura y secuestro de CO<sub>2</sub> en las plantas de generación de electricidad con combustibles fósiles, la práctica eliminación de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Una razón de peso es que, incluso si se utilizan derivados de petróleo para la producción de electricidad, la eficiencia global del proceso aumenta y tiene la ventaja de la posibilidad de utilizar CCS para capturar las emisiones.

Las desventajas de este tipo de vehículos son su alto coste, su baja autonomía y los tiempos de recarga. Una de las barreras para su rápida comercialización es la batería, ya que incluso para una utilización de 300 Km. se necesita una batería que pesa más de 400kg. El coste del vehículo será un factor importante para determinar el nivel de penetración que se podrá alcanzar y, de nuevo, el apoyo regulatorio podría ser decisivo.

En el momento de concluir esta tesis los fabricantes de vehículos están lanzando vehículos eléctricos cada vez más competitivos, por lo que los datos aportados en este tema se quedarán probablemente obsoletos pronto. Mitsubishi va a lanzar el vehículo i-MiEV con una autonomía de 160 Km. por un coste inicial de 49.000 dólares, pero espera reducirlo a la mitad cuando el vehículo se venda fuera de Japón. General Motors lanzará próximamente el Chevrolet Volt por un precio de 40.000 dólares, una autonomía de 65 Km. y un generador que cubra los Km. por encima de ese límite. El principal coste de estos vehículos es la batería: una de 35 kWh cuesta en el año 2009 unos 17.000 euros, pero con los avances tecnológicos y las economías de escala el precio de la batería se podría reducir hasta los 8.000-12.000 euros en 2015 (Economist 5/9/09).

Los vehículos híbridos eléctricos enchufables presentan en el corto y medio plazo ventajas considerables respecto a los coches eléctricos, por la extensión de su autonomía que permite realizar largos recorridos, por su posibilidad de utilizarlo en lugares donde se carece de infraestructura para una carga rápida de la batería y por la disponibilidad de combustible que permite ofrecer un servicio similar al actual a un coste menor.<sup>74</sup>

---

<sup>74</sup> Con respecto a los coches con pilas de hidrógeno no existe consenso respecto a su viabilidad por la pérdida de eficiencia en la producción de hidrógeno y la alta inversión necesaria para el desarrollo de la infraestructura de suministro de hidrógeno. Por ello, de ser una alternativa lo sería en el largo plazo.

## **B. INCREMENTAR LA ACCESIBILIDAD**

La estrategia de incrementar la accesibilidad está también vinculada a cambios en el comportamiento y en las percepciones. La cuestión es evolucionar desde una perspectiva de incremento de movilidad hacia otra de crecimiento de la accesibilidad, lo que no implica necesariamente viajar o utilizar el vehículo privado.

Una planificación espacial mejor integrada constituye un elemento fundamental en la política de transporte. La gestión de la demanda de transporte puede fomentar el cambio hacia modos menos contaminantes y una mayor accesibilidad de los mismos si se realiza con rigor, utilizando políticas fiscales y suministrando información y formación adecuada a los ciudadanos.

Para optimizar el transporte de viajeros se deberían desarrollar planes de movilidad sostenible en áreas urbanas y metropolitanas, incluyendo la puesta en marcha de planes personalizados para grandes empresas y otros centros de actividad. Los centros de trabajo y estudio son el origen de un 40% de la movilidad cotidiana. Las empresas deben favorecer más accesibilidad en vez de más movilidad fomentando el teletrabajo, las teleconferencias, la flexibilización de horarios, el transporte de empresa y el *car pooling*. En este área, la utilización de las TIC puede generar ahorros de energía y mejoras en la eficiencia energética del transporte de viajeros a través de:

- Compañías suministradoras de servicios de transporte eléctrico que vendan kilómetros de desplazamiento con la energía eléctrica almacenada en baterías propiedad de la empresa. Un ejemplo actual es la empresa californiana *Better Place*. De esta forma las empresas venderían electricidad en baterías cargadas en los momentos más oportunos para el sistema eléctrico. Los sistemas TIC permiten la conexión entre vehículos, la empresa suministradora del servicio de transporte y la compañía eléctrica. Este sistema de comunicación con el vehículo informa al usuario en tiempo real sobre las plazas de aparcamiento con enchufe disponibles en las cercanías del lugar al que se dirige, y dónde y cuando le resultaría más conveniente sustituir la batería si fuera necesario. No obstante, para que esto suceda en España se necesitaría un desarrollo de infraestructura que no parece factible a corto y medio plazo.
- El teletrabajo puede evitar un 5% de los desplazamientos cotidianos totales si el trabajador se queda en casa trabajando un día a la semana.
- Las videoconferencias evitan desplazamientos y ahorran energía. Por ejemplo una videoconferencia de 4 horas entre dos usuarios supone un impacto ambiental 30 veces menor que si uno de ellos se desplaza en coche una distancia de 100 Km y 500 veces menor que si el desplazamiento se realizara en avión y la distancia fuera de 1000 Km (RAI, 2009).

Además, la Administración General del Estado debe apoyar más el transporte colectivo urbano y metropolitano a través de la mejora de las cercanías ferroviarias, la construcción de plataformas reservadas para el transporte colectivo en los accesos a las principales ciudades y centros de interés colectivo (hospitales, universidades, áreas industriales y empresariales, y centros comerciales y de ocio). También en este área las TIC pueden aportar innovaciones que aumenten la accesibilidad del transporte público para:

- Optimizar el tiempo de desplazamientos en transporte público, facilitando la intermodalidad y la interoperabilidad. Esto es posible con coordinación de los servicios gestionados por diversos operadores y la comunicación de esa información al público mediante varios canales para que el usuario pueda planificar sus desplazamientos.
- Mejorar la accesibilidad y atractivo del transporte público con sistemas de gestión de flotas (centro de control, sistema de abordaje, sistemas de comunicaciones), sistemas de ayuda a la explotación y sistemas de gestión de la demanda de transporte (sistemas de información al viajero, sistemas de gestión de flota, gestión integrada de tráfico y transporte público, gestión tarifaria, etc.). Para la gestión integral de espacios intermodales son necesarios sistemas de control y comunicación en el ámbito ferroviario y servicios de bus a la demanda entre otros (véase RAI, 2009, para un mayor detalle sobre la contribución de las TIC a la sostenibilidad del transporte en España).

### **C. CAMBIAR EL COMPORTAMIENTO**

La Encuesta Movilia aporta importantes conclusiones respecto al comportamiento de los residentes en España en relación al transporte, que demuestran claramente unas tendencias insostenibles. Cambiar la percepción que los ciudadanos tienen sobre el transporte en vehículo privado y cambiar los hábitos y costumbres de los españoles en su movilidad cotidiana y en sus viajes es probablemente lo más difícil de alcanzar. La reducción del consumo energético para el transporte a través de cambios de comportamiento implica reducir la movilidad, utilizar el transporte público o modos de transporte no motorizados y adquirir vehículos más eficientes.

El estudio realizado por la Fundación Repsol aporta algunos de los motivos que explican estas percepciones y hábitos. La conducción en vehículo particular está influida, según la encuesta, por un estilo de vida marcado por las prisas y las agendas personales llenas de actividades que exigen desplazarse, controlar y apurar el tiempo. La rapidez afecta además a la forma de conducir y a la elección de vehículos que maximizan la potencia y la rapidez. La conducción se considera una expresión de la personalidad del conductor: particular, personal, intransferible y distinta de la de otros conductores. Por ello, según los investigadores, el ahorro de energía en el vehículo

genera rechazo en la medida que interfiere con la forma de conducir, ya que atenta contra el modo de ser y sentirse al volante (Repsol, 2009).

En este sentido en la tabla 8.11 se recoge la posición de los encuestados ante una serie de medidas drásticas destinadas a aumentar la eficiencia energética en el transporte privado.

**Tabla 8.11: Posición sobre medidas drásticas de ahorro energético en la conducción**

(%)	A favor	En contra	Ni a favor, ni en contra
<b>Cursos formación en ahorro y eficiencia Pérdida de puntos por conducción ineficiente</b>	73	24	3
<b>Impedir por Ley velocidades superiores a 110 km</b>	54	42	4
<b>Suplemento vehículos solo ocupante días laborales</b>	51	44	5
	29	65	6

*Fuente: Elaboración propia a partir de Repsol (2009).*

Las conclusiones son que los principios de eficiencia y ahorro energético se aceptan y se apoyan en España, y que algunas prohibiciones y sanciones son admisibles, pero otras medidas muy concretas, que inciden en restricciones en el uso del automóvil, no tienen tanta aceptación. De acuerdo con los resultados obtenidos existen cinco tipos de actitudes en la población española:

1. Los “sancionadores” (un tercio de los consultados) son partidarios de castigar, multar, inhabilitar, etc., en especial a los excesos automovilistas.
2. Los “liberales” (una quinta parte) se manifiestan contrarios a cualquier prohibición o imposición.
3. Los “educadores” (una quinta parte) se muestran más bien favorables a medidas formativas y menos que otros a las actuaciones sancionadoras.
4. Los “motorizados” (una décima parte) partidarios de sancionar y prohibir pero no al coche. En especial, son contrarios a impedir que los coches superen los 110 Km./hora y no aceptan que se quiten puntos por conducción ineficiente.
5. Los “ordenancistas” (una décima parte) apoyan una reglamentación prolija y son partidarios de algunas exigencias, pero no son favorables a obligaciones e imposiciones, especialmente en el uso del coche.

La conclusión es que las medidas para el cambio de comportamiento en torno al transporte deben ajustarse a la idiosincrasia de cada grupo para alcanzar objetivos

adecuados. Además los resultados serán mejores si se asocian estas medidas a otros objetivos que les afecten en otros aspectos de su vida, como los accidentes de tráfico, la salud, el bienestar, el estrés, etc.

Las campañas de información deben diseñarse para modificar estas percepciones generales, teniendo en cuenta cuáles son los aspectos que han cambiado estos hábitos. En concreto, con la crisis económica y la escalada de precios de combustible de los últimos años, algunos conductores están limitando el uso del vehículo particular. Por ello, los consumidores pueden saber cuánto les cuesta hacer algunas cosas y qué podrían hacer a cambio con esos recursos. Junto a esto, la normativa de tráfico, las sanciones y las campañas a favor de la limitación de la velocidad al volante están influyendo en la conducción en ciudad y en carretera.

Por lo que respecta a la movilidad, el Gobierno se ha planteado potenciar la movilidad no motorizada en las ciudades –peatones y bicicletas – e integrarla dentro del conjunto del sistema de transporte de cada ciudad. Para ello, es necesario un esfuerzo colectivo para alcanzar un uso racional del vehículo privado, apoyado en campañas de sensibilización y concienciación (EEDS, 2007). Otras medidas restrictivas más intervencionistas son altamente impopulares aunque se están llevando a cabo en otros países.

Los españoles encuestados conocen y son conscientes de que en la lucha contra el cambio climático el transporte público es sinónimo de ahorro energético, pero la mitad considera que abandonar el uso del vehículo privado supone una pérdida de calidad de vida. Por otro lado, los ciudadanos españoles conocen cómo ahorrar combustible, pero sólo el 50% de la población procura conducir de manera completamente eficiente, siendo la población de más edad los más cuidadosos, junto con los niveles medios y más bajos de renta. En el otro extremo se encuentran los más jóvenes (de 18 a 29 años) que conducen de manera menos eficiente, sólo un tercio afirma conducir de modo completamente eficiente (Repsol, 2009).

Por lo que se refiere a la adquisición de vehículos, un escenario de futuro plausible es que los conductores elijan el coche eléctrico para los trayectos cortos y cotidianos y que utilicen un vehículo híbrido para los desplazamientos de fin de semana. La clave está en que la mayor parte del uso de los vehículos para la movilidad cotidiana se produce a unas distancias reducidas. Un 80% de los trayectos en EEUU es inferior a 65 Km., en Japón un 90% de los trayectos son inferiores a 40 Km. y a 60 Km. en los fines de semana y en Alemania un 90% de los trayectos se realizan a distancias inferiores a 90 Km. (Economist, 5/9/2009). En el ámbito europeo más del 30% de los viajes en vehículo privado recorren menos de 3 Km. y el 50% menos de 5 Km. (Kahn-Ribeiro et al., 2007).

Por ello, los centros de trabajo podrían ofrecer incentivos para aumentar el uso de vehículos eléctricos de sus empleados, tanto para los que acuden a trabajar en su propio vehículo como los que lo hacen por motivos profesionales, poniendo a su disposición electrolinerías o leasing de baterías.

Una cuestión importante, si se quiere dar un impulso a la venta de este tipo de vehículos, es analizar las motivaciones de los conductores españoles al elegir coches más eficientes. Por ejemplo, en el caso de los compradores de coches híbridos, además de las ventajas conocidas de ahorro de combustible y de menor contaminación, se une la imagen que proyecta su conductor, una imagen diferente, de futuro. Dentro de este segmento la Fundación Repsol identifica tres compradores tipo (Repsol, 2009):

- El taxista, cuya motivación fundamental es económica (ahorro en mantenimiento y combustible y subvenciones para la adquisición del vehículo) y las prestaciones (comodidad en la conducción, silencioso, etc.).
- El “snob”, cuya principal motivación es el anhelo de diferencia y “modernidad”, que está asociada a valores ecológicos.
- El “concienciado”, que está profundamente implicado en prácticas de protección del medio ambiente en su vida diaria. Aunque el ideal de este tipo de usuario es el coche eléctrico, a falta de un mayor desarrollo de esa opción, se deciden por el híbrido “como mal menor”.

## **8.7. Instrumentos para mejorar la eficiencia del transporte**

A continuación se muestran los principales instrumentos utilizados por los Gobiernos para llevar a cabo las estrategias anteriores y se analiza su efectividad internalizadora y su aplicabilidad en España. Algunos instrumentos afectan al transporte de mercancías y viajeros, aunque la mayoría están enfocadas en este último segmento.

### **8.7.1. Instrumentos regulatorios**

Los instrumentos regulatorios más utilizados para combatir los impactos ambientales del transporte han sido las normas de “control y mando” entre las que destacan:

#### **A. ESTÁNDARES.**

Los estándares imponen unos límites relativos a la contaminación, por ejemplo que las emisiones medias de los vehículos matriculados en 2012 no excedan de 120 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro. Para maximizar el potencial de los estándares, éstos deben ser obligatorios y cubrir el máximo número de vehículos, incluyendo las furgonetas, para evitar distorsiones. Los procedimientos de medición de los consumos energéticos deben ser revisados y armonizados para recoger otros factores que ocurren en la conducción en carretera y que no se recogen en la actualidad en los test de laboratorio, como son el uso del aire acondicionado o la iluminación. Los estándares no deben favorecer ningún tipo de tecnología y deben ser lo suficientemente exigentes para incentivar la innovación (véase IEA 2008c para una descripción detallada de las posibles mejoras en la introducción de estándares). La ventaja de este instrumento es que obliga al cumplimiento de un nivel mínimo. Los inconvenientes son que: no genera incentivos tecnológicos más allá del estándar; los fabricantes que suministran la información tienen incentivos para que el estándar no sea exigente y la reducción del consumo por Km puede generar un efecto rebote.

#### **B. LIMITES DE VELOCIDAD**

Imponer límites más estrictos a la velocidad en vías rápidas (por ejemplo los 90 Km/hora de la M30 en Madrid) genera ahorros de energía, puesto que a esa velocidad los vehículos optimizan el consumo energético. Ésta es una medida eficaz y eficiente en coste, puesto que genera ahorro de combustible. La experiencia en las ciudades españolas muestra que no genera gran rechazo social, al tener otros beneficios como la disminución de siniestros y la optimización del tráfico.

#### **C. REQUISITOS DE MANTENIMIENTO DEL VEHICULOS**

La exigencia de una supervisión técnica y periódica del vehículo (en el caso español la Inspección técnica del Vehículo – ITV) puede optimizar el consumo energético de los vehículos, pero requeriría ciertas adaptaciones del modelo actual para ser más efectiva. La ventaja es que existe la infraestructura y el conocimiento de los ciudadanos, por lo que los costes son reducidos.

En particular, según Kahn-Ribeiro et al. (2007) se pueden lograr reducciones de entre el 5-10% en el consumo de combustible con programas más rigurosos de inspección y mantenimiento del vehículo, mejora de la conducción y mejora en el control de las velocidades. No se dispone de datos de qué porcentaje corresponde a este instrumento.

#### **D. REQUERIMIENTOS DE ALTA OCUPACION**

Restringe el uso de ciertos carriles de circulación temporal o permanentemente para vehículos ocupados por más de una persona (por ejemplo, el Bus VAO en Madrid). Este

tipo de medida incentiva a reducir la actividad (se evita la repetición de trayectos) otorgando un acceso más rápido al centro de las ciudades. Se podría ampliar la opción a vehículos eléctricos, al margen de su ocupación, para incentivar la mayor utilización de los mismos.

#### **E. CUOTAS DE CARBURANTES ALTERNATIVOS**

España se ha planteado unos objetivos muy ambiciosos para alcanzar una cuota de mercado de biocombustibles del 5,4% en 2009, del 5,8% en 2010 y del 10% en 2020. Estos objetivos han sido incluidos en la nueva Ley de Hidrocarburos<sup>75</sup> obligando a los operadores petrolíferos a poner a disposición de los consumidores porcentajes crecientes de biocarburantes. No obstante se debe mejorar la eficiencia medioambiental de los mismos mejorando la eficacia de la producción, con el desarrollo de técnicas avanzadas como la conversión de celulosa mediante procesos enzimáticos por gasificación y síntesis.

#### **F. CUOTAS DE VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Aunque el Gobierno español ha preferido optar por la vía de las subvenciones, se podría introducir la obligación para los fabricantes de que un porcentaje de sus ventas fuesen coches eléctricos.

#### **G. RESTRICCIONES DE USO**

Cada vez más habituales en ciertas zonas de las ciudades, implican limitar el acceso en vehículo privado a centros urbanos (por ejemplo, sólo permitiendo circular un día a la semana o a determinadas matrículas), límite de acceso a determinadas zonas (por ejemplo, acceso sólo a residentes o peatonalización de las calles), con restricciones al aparcamiento (por ejemplo, zona azul y zona verde). Una discriminación positiva inicial hacia el vehículo eléctrico es una medida complementaria que puede fomentar una mayor penetración y utilización de este tipo de vehículos, y al mismo tiempo mitigar el rechazo social de la medida puesto que se ofrece una opción para poder evitar el pago. En este sentido varias ciudades españolas eximen a este tipo de vehículos del pago en parkings públicos.

### **8.7.2. Instrumentos económicos**

Los instrumentos económicos son en teoría más eficientes y permiten alcanzar los objetivos marcados al mínimo coste para la sociedad. Entre los instrumentos más utilizados se encuentran:

---

<sup>75</sup> Ley de Hidrocarburos 12/2007 del 2 de Julio.

## A. FISCALIDAD

Hasta la fecha la finalidad de los impuestos que gravan al transporte es fundamentalmente recaudatoria y su caracterización energético-ambiental muy limitada. La desventaja más importante de los impuestos es que a priori no se puede prever qué nivel de reducción de emisiones se va a alcanzar. Dentro de las figuras impositivas que gravan el transporte rodado se pueden distinguir dos grupos, aquellas que establecen una cantidad fija, al margen del consumo generado y sus daños ambientales asociados, y las que son variables, en función del volumen consumido, que aunque no están configuradas sobre la base del daño generado, indirectamente incentivan a un consumo eficiente. A continuación se describen estos impuestos y en el apartado 8.7.4 se proponen unas reformas para aumentar su eficacia.

- **El Impuesto Especial sobre Determinados Medios de Transporte (IEDMT)**, popularmente conocido como “el impuesto de matriculación”, fue modificado recientemente por la Ley de Calidad del Aire. El impuesto grava los medios de transporte (vehículos, embarcaciones y aeronaves de uso privado) y se configuró inicialmente como un impuesto *ad valorem* sobre cuya base se aplicaban unos tipos impositivos en función de la potencia del vehículo<sup>76</sup>. La reforma del impuesto se basó en tres premisas: mantener la presión fiscal, eliminar la ventaja fiscal del diésel y gravar más a los vehículos que más contaminen.<sup>77</sup> La recaudación total del impuesto revierte sobre las CCAA, que tienen la capacidad para incrementar los tipos impositivos hasta en un 10%, aunque ninguna lo ha hecho hasta la fecha.
- **El Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica (IVTM)** o “impuesto de circulación”, es un gravamen periódico que anualmente exigen los Ayuntamientos a los titulares de los vehículos y cuya cuota a pagar se establece en función del tipo de vehículo (turismos, autobuses, camiones, etc.) y de su potencia fiscal. No obstante, los ayuntamientos pueden incrementar dichas cuotas hasta fijarlas como máximo hasta el doble de las cuantías establecidas. En su configuración actual, el impuesto no responde a criterios energético ambientales, aunque pueden ser introducidos como bonificaciones<sup>78</sup> por los Ayuntamientos, que se encargan de la gestión y recaudación del impuesto.

---

<sup>76</sup> Los tipos eran el 7% para turismos de hasta 1600 centímetros cúbicos con motor gasolina o hasta 2000 centímetros cúbicos con motor diésel y el 12% para el resto.

<sup>77</sup> La configuración del nuevo impuesto pasa a depender de cuatro tramos: los vehículos que emitan menos de 120 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro quedarán exentos del impuesto; los que emitan entre 121 y 160 gramos de CO<sub>2</sub> tendrán un tipo del 4,75%; aquellos que lo hagan entre 161 y 200 gramos lo harán al 9,75% y los que emitan más de 200 gramos, además de quads y motos acuáticas, lo harán al 14,75%.

<sup>78</sup> Los Ayuntamientos pueden establecer bonificaciones cuando tengan vinculación con el medio ambiente, que pueden llegar al 75% en función de la clase de carburante que consuma el vehículo o de las características de los motores de los vehículos y su incidencia en el medio ambiente.

- **El impuesto de hidrocarburos (IH)** grava todos los hidrocarburos líquidos o gaseosos utilizados como carburantes o combustibles de calefacción (exceptuando el gas natural y el carbón). La finalidad de este impuesto es recaudatoria, por la débil elasticidad de la demanda con relación al precio y la amplitud de la base tributaria, lo que explica la elevada carga fiscal que afecta a los combustibles. El mayor gravamen recae sobre la gasolina, puesto que al no ser un insumo económico, su imposición más elevada no genera problemas de competitividad. Al contrario sucede con el fuel óleo, que es el producto más contaminante pero tiene una carga impositiva muy baja, puesto que se emplea en industrias de alta IE donde el coste del combustible es un elemento muy sensible.<sup>79</sup> El impuesto otorga un trato favorable al diésel respecto a la gasolina por su utilización masiva en operaciones comerciales, así como por razones de teoría ambiental ligadas a su mayor eficiencia energética, aunque esta ventaja ha provocado el efecto contrario. Por la estructura y naturaleza del impuesto, su gestión está centralizada a nivel estatal y no otorga capacidad normativa a las CCAA. La recaudación se reparte entre el Estado (56,75%), las CCAA (40%) y las Administraciones locales (3,25%).

**Tabla 8.12. Tipos impositivos de los hidrocarburos.**

<b>PRODUCTOS</b>	<b>IH</b>	<b>IVMDH (tipo estatal)</b>	<b>TOTAL CARGA FISCAL</b>
	<b>euros/kl</b>	<b>euros/kl</b>	<b>euros/kl</b>
<b>Gasolinas con plomo</b>	<b>404,79</b>	<b>24</b>	<b>428,79</b>
<b>Gasolinas sin plomo 97 IO</b>	<b>402,92</b>	<b>24</b>	<b>426,92</b>
<b>Demás gasolinas sin plomo</b>	<b>371,69</b>	<b>24</b>	<b>395,69</b>
<b>Gasóleos uso general</b>	<b>278</b>	<b>24</b>	<b>302</b>
<b>Gasóleo bonificado</b>	<b>78,71</b>	<b>6</b>	<b>84,71</b>
<b>Fuelóleos</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>15</b>
<b>GLP uso general (por Ton)</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>125</b>
<b>GLP vehículos S.P. (por Ton)</b>	<b>57,47</b>	<b>-</b>	<b>57,47</b>
<b>GLP uso combustible (por Ton)</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>
<b>Metano uso general (por Gj)</b>	<b>16,83</b>	<b>-</b>	<b>16,83</b>
<b>Metano uso combustible (por Gj)</b>	<b>0,16</b>	<b>-</b>	<b>0,16</b>
<b>Queroseno uso general</b>	<b>291,79</b>	<b>24</b>	<b>315,79</b>
<b>Queroseno calefacción</b>	<b>144,55</b>	<b>-</b>	<b>144,55</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Impuesto sobre la Venta Minorista de Determinados Hidrocarburos (IVMDH)** se creó en el año 2002 en el contexto del nuevo sistema de financiación autonómica. Cuenta con un tipo estatal y otro autonómico, que las CCAA pueden fijar libremente dentro de ciertos límites (hasta la fecha, sólo cuatro

<sup>79</sup> De hecho, buena parte del consumo de fuel óleo no está sometido a tributación efectiva pues se ampara en alguna de las exenciones o supuestos de no sujeción del impuesto existentes.

CCAA –Madrid, Galicia, Asturias y Cataluña – han establecido tipos autonómicos). Este impuesto tiene exenciones y devoluciones similares a las del impuesto de hidrocarburos y no está estructurado con criterios medioambientales.

## **B. COMERCIO DE EMISIONES**

En teoría éste sería uno de los instrumentos más eficientes. Las asignaciones se pueden realizar a conductores o a las compañías suministradoras. En el primer caso, los conductores recibirían unos permisos de emisión que deberían entregar al repostar combustibles. En el segundo caso, las refinerías comprarían permisos para cubrir las emisiones generadas por el combustible producido o vendido. En la práctica implica altos costes administrativos de la primera opción la hacen inviable. En EEUU el proyecto de Ley Waxman-Markey ha optado por implicar a las refinerías en el comercio de emisiones, mientras que en Europa se ha optado por utilizar otro tipo de instrumentos para mitigar las emisiones del transporte.

## **C. SUBVENCIONES**

Las subvenciones han sido ampliamente utilizadas en España por su alta popularidad y destacan los planes de sustitución de vehículos (Plan Prever y ahora Plan Vive) y los planes para fomentar el vehículo eléctrico:

- **Reforma Plan Vive** (aprobada en noviembre de 2008). El plan consiste en la financiación a tipo cero de los 10.000 primeros euros del nuevo vehículo cuando se da de baja un turismo de más de 10 años ó más de 250.000 Km. El nuevo vehículo adquirido (nuevo o usado como máximo 5 años) tiene que tener un nivel de emisiones no superiores a 120 g/Km. (Vehículo Ecológico) o que sus emisiones de CO<sub>2</sub> no sean superiores a 140g/Km. y que, además, incorporen sistemas de control electrónico de estabilidad y detectores presenciales en plazas delanteras o con catalizadores, que permitan unas emisiones de óxido de nitrógeno menores. Además, se incluyen vehículos comerciales ligeros (menos de 3,5 ton) con emisiones no superiores a 160 gr. CO<sub>2</sub>/Km.
- **Plan de Automoción.** Para fomentar una mayor penetración de los coches eléctricos el Gobierno ha aprobado el Plan de Automoción, con el objetivo de que en el año 2014 existan un millón de vehículos híbridos-eléctricos en circulación. El Plan incluye el Proyecto MOVELE, un plan piloto para la demostración de la viabilidad técnica, energética (infraestructuras) y económica de la introducción de 2.000 vehículos hasta el 2010 en entornos urbanos (MITYC, 2009c).

#### **D. PEAJES DE ACCESO**

Una de las medidas que ha resultado más efectiva para fomentar un comportamiento racional y reducir la contaminación de las ciudades ha sido la introducción de peajes de acceso al centro de las ciudades. El caso más exitoso de tasa de congestión fue el instaurado en Londres en febrero de 2003 con el objetivo de reducir los niveles de congestión de la ciudad<sup>80</sup>. La tasa, de 5 libras por día en horario laboral, se paga electrónicamente en un área de 22 Km.<sup>2</sup> y los vehículos de transporte público y motocicletas se benefician de exenciones, mientras que los residentes y discapacitados disfrutaban de descuentos. La recaudación se destina a mejorar el transporte público londinense. Los resultados de este esquema han sido positivos, con una reducción del 30% de la congestión y del 15% del volumen de tráfico. Además, los servicios públicos de transporte han mejorado. Siguiendo este ejemplo, la ciudad de Estocolmo ha introducido también una tasa de congestión en enero de 2006.

#### **E. PEAJES POR EL PAGO DE INFRAESTRUCUTRAS**

En algunos países se han introducido impuestos o peajes para el transporte de mercancías. Concretamente Suiza puso en marcha en el año 2001 una normativa con el propósito de que el transporte de mercancías pagase los costes medioambientales que genera e impulsase una mayor penetración del ferrocarril. La carga se aplica a camiones suizos y extranjeros, lo cual requirió intensas negociaciones con la UE, por ser el principal usuario extranjero de las carreteras suizas. Al mismo tiempo que se introdujo la tasa, se fijó un límite inicial de peso de 34 toneladas que fue incrementado en 2005 hasta las 40 toneladas. El sistema establece tres tramos para la tasa en función de la antigüedad del vehículo, de las toneladas transportadas y la distancia recorrida. Los primeros resultados han sido positivos, el tráfico en las carreteras suizas se redujo un 8% entre 2000 y 2005, rompiendo la tendencia de crecimiento y las emisiones de contaminantes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>) se han reducido entre un 6 y 8%, ayudado también por la renovación de la flota (OCDE, 2006). Sin embargo, no se ha conseguido el deseado cambio modal. Otros países que han introducido tasas al transporte de mercancías han sido Austria (2004) y Alemania (2005), mientras que el Reino Unido y la República Checa están analizándolo.

#### **F. EMPRESAS SUMINISTRADORAS DE SERVICIOS DE TRANSPORTE DE VIAJEROS**

Estas empresas podrían poner a disposición de clientes vehículos híbridos a través de fórmulas especiales, por ejemplo el *leasing*, ayudados por deducciones fiscales por parte de la Administración General del Estado.

---

<sup>80</sup> Se había demostrado que los vehículos pasaban la mitad del tiempo del trayecto en la ciudad de Londres en colas y que la velocidad media era de 15 Km. por hora

Otra posibilidad es que estas empresas vendan movilidad (Km recorridos) a través de una red de electrolinerías o cambiadores de baterías. Además de ofrecer esta red a los conductores de vehículos eléctricos, estas empresas tienen otra ventaja adicional al separar la propiedad de la batería de la del vehículo. De esta forma se reduce el coste del vehículo y se mitiga una de las principales barreras a la compra de estos vehículos que es su alto coste inicial. El usuario mediante el alquiler de baterías seguirá pagando el alto coste de la batería eléctrica con un margen para el vendedor, pero dada la “miopía” del comprador (capítulo 7), esta información no se tiene en cuenta.

### **8.7.3. Instrumentos informativos**

Se ha comentado ya que uno de los mayores retos en política energética es cambiar el comportamiento de los ciudadanos y los patrones de movilidad asociados, lo que significa diseñar ciudades y regiones menos dependientes del vehículo privado, reducir las distancias en los viajes y aumentar los desplazamientos en medios no motorizados o transporte público. Se trata de evolucionar hacia políticas de transporte que enfatizan la mejora de la accesibilidad frente al aumento de la movilidad, crean proximidad frente a velocidad y pasan de un modelo de infraestructuras a otro de servicios (Cátedra BP, 2009).

Los instrumentos de información son populares y muy utilizados aunque su efectividad es difícilmente medible. Entre las medidas que se pueden incluir en esta categoría se encuentran:

- Las campañas de concienciación destinadas a colectivos concretos con mensajes ajustados a los mismos.
- La elaboración de guías informativas. Entre ellas ha sido bastante popular en España la introducción de campañas de conducción eficiente, con el objetivo de enseñar a los conductores sobre las prácticas para mejorar la eficiencia energética.
- La introducción de la materia de movilidad sostenible en los currículos escolares. Esta medida puede ser efectiva para frenar el escepticismo de jóvenes entre 18 y 25 años, que son los que menos esfuerzos realizan en el área de la eficiencia energética y el transporte.

### **8.7.4. Efectividad internalizadora de los instrumentos y propuestas**

A la hora de implementar algunas de estas medidas y utilizar los instrumentos indicados se deben tener en cuenta la atribución de competencias entre la Unión

Europea, el Gobierno de los países, las Comunidades Autónomas (CCAA) y los municipios. Los estándares o el comercio de emisiones se deben adoptar a nivel europeo. La fiscalidad, los peajes de acceso o el pago de infraestructuras se pueden fijar a nivel nacional aunque las CCAA tienen cierta autonomía para introducir incrementos. Finalmente, los planes de movilidad, el transporte público y el fomento del transporte no motorizado se realizan a nivel local, con la ventaja de ser más efectivos y la desventaja de ser difícilmente comparables con los de otros municipios.

#### **A. MEDIDAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA**

En las tablas 8.13 y 8.14 se recogen los resultados de aplicar distintas medidas de gestión de la demanda y el efecto que éstas tienen en la reducción de la movilidad. La implantación, el análisis y la recopilación de las medidas se realizaron en los años 90 y no se dispone de información detallada sobre las estimaciones. No obstante, las tablas muestran conclusiones lógicas e interesantes. Las medidas restrictivas que aumentan el precio del transporte son más efectivas que aquellas que aumentan la oferta de transporte.

**Tabla 8.13. Estimación de efectos de medidas de gestión de la demanda en el transporte**

	Reducción de distancia recorrida (%)	
	Mínimo	Máximo
Reducción viajes del empleador	0,2	3,3
Compartir trayecto en un área	0,1	2
Mejorar el transporte público	0,1	2,6
Vías de alta ocupación	0,2	1,4
Parkings disuasorios	0,1	0,5
Instalaciones para caminar y bicicletas	0,02	0,03
Cobrar parking en el trabajo	0,5	4
Parquímetros	3,1	4,2
Tarifas de congestión	0,2	5,7
Concentración de la semana laboral	0,03	0,6
Teletrabajo	-	3,4
Planificación urbanística	0,1	5,4
Impuesto por contaminación	0,2	0,6

*Fuente: IEA (2005).*

La aplicación conjunta de varias medidas tendría un menor efecto del indicado, puesto que afectarían de igual manera a determinados grupos de consumidores. Algunas medidas de la tabla 8.14 podrían ocurrir en momentos puntuales de emergencia, en los que se ha comprobado que el ciudadano tiene una mayor receptibilidad y está dispuesto a cambiar de forma más drástica su comportamiento, por lo que las cifras

pueden subestimar estos efectos (véase IEA, 2005 para un detalle de las posibles medidas y respuestas en caso de una crisis del petróleo).

**Tabla 8.14. Estimación de posibles ahorros energéticos derivados de medidas restrictivas de gestión de la demanda**

	<b>Reducción del consumo energético (%)</b>
Reducción voluntaria del consumo sin señales de precio	1,1
Reducción del consumo con señales de precio	4,6
Restricción en eventos deportivos de motor	0
Restricción a la conducción en vehículo a grandes eventos	1,7
Límites de velocidad (100km/h autopista/80 kmh carreteras)	4,8
Restricción a viajar uno de cada dos domingos	2,5
Restricción a viajar uno de cada dos fines de semana	3,2
Restricción de conducir los domingos	6,3
Restricción de conducir en determinados días	3,7
Restricción de conducir a determinados vehículos (por nº matrícula)	2,4
Restricción de conducir los fines de semana	8,5
Racionamiento (-15% para ir a trabajo o estudios, 7,5% viajes de trabajo y 90% viajes de fin de semana)	8,5

*Fuente: IEA (2005).*

Dentro del conjunto de medidas que se podrían aplicar en España, la encuesta de la Fundación Repsol concluye que los españoles prefieren medidas voluntarias en el área del transporte, y los instrumentos de precio tienen quizás una mejor aceptación social que las medidas restrictivas de prohibición de conducir en determinados días y lugares. El ciudadano tiene la opción de pagar más por conducir o comprar un vehículo que consuma menos y lo hace ya, como se ha visto en la tabla 8.10.

Algunos estudios miden el impacto en el consumo energético, la adquisición de vehículos y la distancia recorrida de incrementos de los precios, de la renta, de otros impuestos y de la densidad de población (Johansson y Schipper, 1997). Los resultados son bastante alentadores ya que demuestran que la introducción de impuestos sobre carburantes puede reducir el daño ambiental (tabla 8.15). Así, un cambio en el precio del combustible tiene un efecto negativo en la demanda de combustibles, puesto que un incremento del 10% de los precios daría lugar a un descenso del 7% de la demanda a largo plazo. Por otro lado la elasticidad de la demanda del transporte es aún más baja (0,15 a corto plazo y -0,3 a largo plazo). Este efecto se ve ampliamente superado por la elasticidad de la demanda de transporte a la renta (1,2). En definitiva, que a medida que la renta per cápita crece, se produce un incremento muy significativo de la demanda de transporte en vehículo privado y serían necesarios unos tipos impositivos muy elevados para generar una respuesta por parte de la demanda.

**Tabla 8.15. Estimación de las elasticidades a largo plazo del transporte a largo plazo**

	Precio Combustible	Renta	Otros impuestos	Densidad población
Propiedad de vehículos (stock)	-0,1	1	-0,06	-0,4
Eficiencia energética	-0,4	0	-0,11	-0,2
Distancia anual por vehículo	-0,2	0,2	0,06	-0,4
Demanda de combustible	-0,7	1,2	-0,11	-1
Demanda de transporte	-0,3	1,2	0	-0,8

*Fuente: Johansson y Schipper (1997).*

## **B. MEDIDAS PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE VIAJEROS**

Un impuesto sobre el combustible da señales adecuadas para reducir la distancia recorrida en transporte en vehículo particular. Pero también se debe tratar de que el consumo por kilómetro recorrido sea más eficiente y para ello se debe renovar la flota de vehículos y matricular vehículos más eficientes. Muchas de las medidas están en marcha en España pero se deberían revisar y controlar periódicamente para maximizar su efectividad. En concreto las medidas que se recomiendan para mejorar la eficiencia energética en el transporte de viajeros son las siguientes:

- Establecer unos estándares revisados periódicamente que marquen un nivel máximo de emisiones o de consumo energético por kilómetro para los vehículos nuevos. La competencia para este tipo de medida recae en la Unión Europea. La propuesta de la UE debería incluir objetivos a corto, medio y largo plazo para dar señales adecuadas a la industria, puesto que por el momento los objetivos sólo se limitan a 2012.
- Incentivar la venta de vehículos eléctricos con un sistema de subvenciones decreciente en el tiempo y vinculado a la sustitución y retirada de vehículos menos eficientes (al margen de su antigüedad). El descenso de subvenciones debe ser paralelo al aumento de las economías de escala de los fabricantes de este tipo de vehículos. Por lo que es recomendable un marco de subvenciones predecible en el tiempo, pero con un margen de flexibilidad para ajustarse a los desarrollos tecnológicos y minimizar el coste total.
- Modificar el impuesto de matriculación y circulación para incentivar la eficiencia dinámica como se explica a continuación.
- Introducir una nueva tasa de congestión en las grandes ciudades españolas, tal y como se comenta más tarde.

- Fomentar que las empresas adopten políticas de aumento de la accesibilidad a través de programas de concentración de jornadas laborales, fomento del teletrabajo, aumento del transporte público, etc.
- Campañas de sensibilización para evitar que el aumento de renta siga empujando la compra de vehículos más potentes y menos eficientes, reforzando la imagen de progreso y de futuro de aquellos que utilizan las nuevas tecnologías.

Se ha mostrado en la tabla 8.15 que un aumento de la renta del 10% conlleva un aumento de similar magnitud en la compra de vehículos. Aspecto corroborado en el caso español en el gráfico 8.8. La densidad de población afecta a la compra y la conducción de vehículos, como se ha visto en el gráfico 8.7 para el caso español y en la tabla 8.15 para otros países. Esto se debe a que las ciudades más grandes cuentan con más servicios de transporte público. Por ello, las CCAA que tienen potestad para aumentar el impuesto pueden hacerlo de forma acorde a sus características particulares.

### **C. REFORMAS IMPOSITIVAS**

Los instrumentos más utilizados en España para mejorar la eficiencia del transporte en España han sido los impuestos, aunque su objetivo ha sido principalmente recaudatorio. La caracterización energética ambiental de los impuestos fijos es muy limitada e incluso ha dado como resultado efectos contraproducentes (en el caso de los vehículos diésel. Por su parte, los gravámenes variables tienen la ventaja de que penalizan el uso del vehículo, pero su efectividad es limitada e indirecta, dada la imperfecta vinculación del hecho gravado con los efectos externos negativos. No obstante, los impuestos variables provocan una contracción de la demanda y generan mejoras dinámicas de eficiencia energética en los vehículos (Labandeira et al., 2002).

Las elasticidades al precio de la demanda de combustibles permiten asesorar sobre la efectividad internalizadora de ciertos impuestos. Las elasticidades son bajas, especialmente a corto plazo (entre -0,2 y -0,3), pero mayores a largo plazo (entre -0,6 y -0,8) (Del Río y Hernández, 2008). La diferencia se debe a que la demanda de combustible es dinámica y cambios en sus variables explicativas no generan cambios en la demanda de energía de manera simultánea sino con cierto retraso. Por ejemplo, si se prevén precios altos de los carburantes a medio y largo plazo, los consumidores comprarán vehículos más eficientes o viviendas próximas a su lugar de trabajo y de compras.

En el caso español, la elasticidad de la demanda de combustible ante incrementos de precios es menor en el corto plazo<sup>81</sup> (-0,08), por el bajo nivel de precios de los carburantes según los autores (Labandeira et al.; 2002). Aspecto corroborado por otro estudio realizado para el período 2000-2006 en 17 regiones españolas que muestra que las políticas fiscales en España son poco efectivas para reducir la utilización del vehículo privado, debido a una elasticidad a corto plazo reducida (prácticamente insignificante para los vehículos diésel). Las distintas medidas adoptadas, como la dieselización y la modernización del parque de vehículos, el mejor rendimiento de los vehículos, la mejora de las infraestructuras por carretera y la promoción del transporte público no han sido satisfactorias en la reducción del consumo energético y han generado el efecto contrario (González-Marrero et al., 2008). La menor elasticidad del caso español puede deberse al período temporal analizado, puesto que en los últimos años se ha comprobado un descenso de las ventas de combustible ante las subidas de precios y la coyuntura económica menos favorable.

Por ello, una de las medidas para fomentar la eficiencia energética en España es la introducción de un impuesto ambiental en el precio de los combustibles, adicional al impuesto de hidrocarburos, puesto que es el que mejor grava las externalidades del consumo energético y tiene la ventaja adicional de tener unos costes administrativos bajos. La sensibilidad de la actividad de transporte ante un cambio de precios dependerá de la magnitud del cambio y de su tarificación, del tipo de viaje, del tipo de viajero y de la calidad y precio de rutas, modos y destinos alternativos. En concreto, la subida de precios afectará a la movilidad cotidiana, siendo más inelástica aquella destinada a ir al trabajo, que la asociada al ocio, que a su vez varía si ocurre durante los fines de semana. Las personas con mayor poder adquisitivo tienden a ser menos sensibles a cambios de precios que las que tienen menores ingresos y lo mismo sucede con los trayectos de trabajo o aquellos dedicados a cuestiones personales. La sensibilidad a variaciones de precios se incrementará también si se ofrecen rutas, destinos y modos alternativos de buena calidad y a precios razonables. Por ello, esta medida debe acompañarse de otra que minimice el impacto de la subida de precios sobre ciertos usos del transporte y ciertos colectivos que pueden resultar más desfavorecidos.

Por su parte, la reforma del impuesto de matriculación tiene la virtud de pasar a fijar los tipos en función de emisiones de CO<sub>2</sub>, en vez de hacerlo con la cilindrada, así como de eliminar las poco justificadas ventajas fiscales de los motores diésel, pero tiene serios inconvenientes. En primer lugar, la configuración por tramos incentiva la fabricación de coches en los extremos superiores de dichos tramos, puesto que cualquier reducción adicional de emisiones no supone un importante beneficio. Por

---

<sup>81</sup> La elasticidad a corto plazo (2 años) es aproximadamente un tercio de la de largo plazo (más de 15 años) (OCDE, 2006), por lo que la cifra equiparable podría rondar el 0,24, casi tres veces menos que la cifra europea.

ejemplo, un modelo con unas emisiones de 121 gramos de CO<sub>2</sub> se ahorraría el impuesto si redujese la emisión a 119 gramos (pasaría de tipo 4,75% a tipo cero); pero un modelo que redujera 15 veces más sus emisiones, por ejemplo desde 155 gramos hasta 125, seguiría pagando el mismo impuesto. En segundo lugar, la base imponible del impuesto continúa siendo el precio, que no es la mejor aproximación si se persiguen finalidades medioambientales.

Para superar estas deficiencias y reforzar el criterio medioambiental, se propone crear un nuevo impuesto de matriculación como combinación de dos elementos: gravar con un mismo tipo del 4% *ad valorem* todos los turismos y gravar con un tipo específico de 22 euros por gramo de emisión las emisiones por encima de un mínimo exento de 130 gramos, que coincide con el objetivo europeo de emisiones medias para 2012. Este diseño conserva las virtudes del impuesto actual y minimiza sus inconvenientes: se eliminan las disfunciones que originan los tramos, incentivándose fiscalmente cada gramo de reducción adicional de las emisiones; se elige una base imponible directamente medioambiental; la mejora en el medioambiente es mayor porque se reducen las emisiones, a igual recaudación, y porque el diseño propuesto amplifica, respecto al actual, las posibilidades de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> si se plantea una subida del impuesto en el futuro .

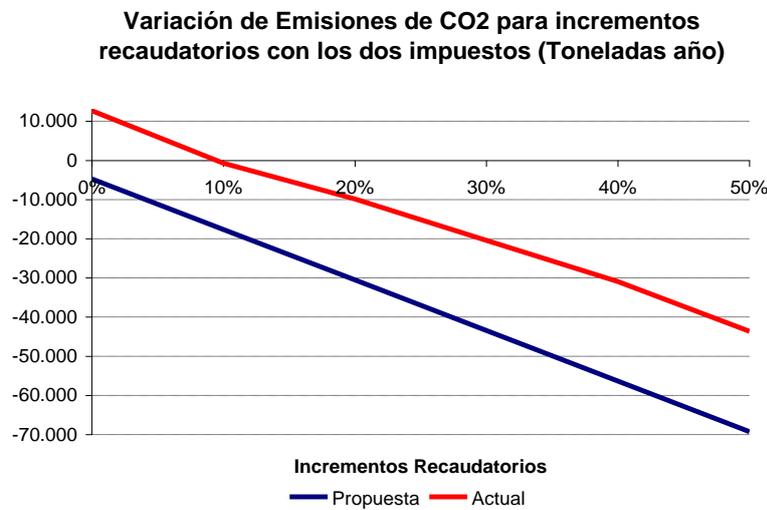
El gráfico 8.10 resume esta propuesta. En él se ve como, con el nivel de recaudación actual, se genera un aumento de las emisiones, mientras que en la propuesta se consigue una reducción. Si se endurecen los tipos impositivos, los resultados en términos medioambientales van mejorando proporcionalmente a la subida de la recaudación, pero esta mejora es más intensa en el diseño propuesto. Si se aumentase la recaudación en un 20%, las emisiones se reducirían en 9.840 toneladas en la configuración actual y 30.540 en la que aquí se propone.<sup>82</sup>

El siguiente paso, después de haber reformado el impuesto de matriculación, es realizar la misma reforma para el impuesto de circulación. Para ello el Gobierno español debería establecer criterios ambientales básicos (un rango de precios por cada gramo de emisión y un mínimo exento común) permitiendo, al mismo tiempo, una diferenciación por parte de los municipios en función de sus características particulares.

---

<sup>82</sup> La modificación de la fiscalidad del automóvil implica una ligera variación de la demanda, en su composición interna y en la cantidad de vehículos vendidos, que en casi todos los casos es inferior al 1%.

**Gráfico 8.10. Comparación del impuesto de matriculación actual con la propuesta de modificación.**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### **D. TASAS DE CONGESTIÓN**

En España todavía no se han introducido esquemas para la imposición en áreas congestionadas. Las competencias recaen sobre las autoridades municipales, lo cual no exime a los Gobiernos autonómicos y al Gobierno central de establecer un marco de incentivos y de precios homogéneos, para evitar distorsiones a la competencia o efectos distributivos no deseables. En este tipo de actuaciones las autoridades locales deben encontrar el equilibrio entre la demanda de mayor accesibilidad de los ciudadanos y la minimización de los impactos sobre el medio ambiente y la propia calidad de vida. Existen varios tipos de esquemas, entre los que destacan los tradicionales peajes, licencias para circular por espacios congestionados, tasas para acceder a zonas congestionadas a través de “anillos” y los sistemas de tarificación electrónica. Las licencias y las tasas<sup>83</sup> pueden ser implementadas a través de una tecnología relativamente simple, mientras que la tarificación electrónica requiere de la aplicación de sistemas de comunicación más avanzados (véase Palmer y Riera, 2005). Los tributos vinculados a la circulación en zonas congestionadas, aunque gravan el uso del vehículo, no diferencian el pago según su nivel de eficiencia. Sin embargo existe la posibilidad de introducir tal diferenciación a través de la inclusión de las características ambientales del vehículo en la tarjeta inteligente de los sistemas de tarificación electrónica descritos, aunque ello resulta más costoso y requiere avances tecnológicos en los sistemas de comunicaciones.

<sup>83</sup> Las licencias de circulación permiten que un vehículo pueda utilizar un espacio vial congestionado en un determinado horario, mientras que las tasas permiten el acceso a una determinada área geográfica.

Dado el éxito de los peajes en Londres se podrían introducir peajes de acceso al centro de las ciudades españolas de más de 500.000 habitantes, donde vive un 17% de la población. Esta medida debe acompañarse del aumento de la oferta y calidad del transporte público, la construcción de aparcamientos disuasorios y los planes de movilidad antes mencionados, utilizando para su financiación los ingresos obtenidos en los peajes citados.

## **E. REGULACIÓN DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS**

Por lo que se refiere a las medidas concretas para incentivar la optimización del transporte de mercancías, España podría plantearse la introducción de un impuesto por el uso de infraestructuras como sucede en otros países.

En este área, la denominada la Directiva de la “Euroviñeta” (Directiva 1999/62/CE<sup>84</sup>) tiene como objetivo armonizar los sistemas de exacción (impuestos sobre los vehículos, peajes y gravámenes vinculados a las infraestructuras varias) e instituye mecanismos equitativos de imputación de los costes de infraestructuras a los transportistas. Tras dos años de arduo debate, en 2006 se aprobó una nueva Directiva<sup>85</sup> con el objetivo de aumentar la eficacia del sistema de transportes por carretera y asegurar el buen funcionamiento del mercado interior. La nueva Directiva ampliaba el marco de actuación de la Euroviñeta, con la inclusión de vehículos de más de 3,5 toneladas (frente a las 12 toneladas anteriores) y con normas de cálculo de los peajes o derechos de uso de la red transeuropea, en contraste con la norma anterior que sólo se aplicaba sobre las autopistas. Los Estados miembros podrán decidir si aplican o no peajes y derechos de uso sobre las demás carreteras. Además, la Directiva exige que los peajes guarden relación con los costes de construcción, de gestión y de desarrollo de la red de infraestructuras de que se trate. Según la UE, esta legislación animará a los Estados miembros a introducir y desarrollar peajes y cánones que permitan mejorar la gestión del tráfico de los transportes comerciales; reducir la contaminación<sup>86</sup>; y recaudar fondos para invertir en nuevas infraestructuras de transporte. En el debate sobre la modificación de la Euroviñeta se discutió sobre si las tasas deberían considerar los impactos medioambientales, aunque finalmente esta iniciativa no prosperó. La completa internalización de los costes ambientales y de los costes de infraestructuras maximizaría la contribución del transporte al Estado del bienestar, mejorando la eficiencia del mercado y creando incentivos para reducir los impactos medioambientales.

---

<sup>84</sup> Directiva 1999/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 1999, relativa a la aplicación de gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por la utilización de determinadas infraestructuras, denominada la Directiva.

<sup>85</sup> Directiva 2006/38/CE de 17 de mayo de 2006 relativa a la aplicación de gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por la utilización de determinadas infraestructuras a fin de reducir las diferencias entre Estados miembros en este ámbito.

<sup>86</sup> A partir de 2010 será obligatorio que las tarifas varíen en función del grado de contaminación de los vehículos.

## 8.8. Conclusiones

Como se ha comprobado en este capítulo, el transporte es víctima de su propio éxito. Los sistemas de transporte han sido capaces en los últimos decenios de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, aumentar la competitividad de la economía y reforzar la cohesión social y territorial, pero al mismo tiempo han ocasionado fuertes presiones sobre la atmósfera, la salud de los ciudadanos y los ecosistemas.

La fuerte movilidad de mercancías y viajeros ha convertido al sector del transporte en el primer demandante de energía. Este consumo energético afecta a la IE del país, a la dependencia energética y produce una serie de externalidades ambientales, como son las emisiones de contaminantes locales y globales que repercuten en el medioambiente (cambio climático, calidad del aire, etc.) y en la salud de las personas.

Un análisis de la movilidad en España muestra que tanto el transporte de mercancías como el de viajeros son poco eficientes en términos energéticos. En el caso de las mercancías los factores que contribuyen a empeorar la IE son: el transporte de productos de bajo valor añadido, la localización geográfica, los bajos precios de los combustibles, la globalización y la especialización productiva de la economía española y la demanda de suministros rápidos a distancias cortas. Con un predominio del transporte por carretera, el tipo de servicio demandado no favorece al cambio modal hacia medios de transporte más eficientes. La fragmentación del sector se presenta como una oportunidad para su consolidación y mejora de la eficiencia de las operaciones por las mayores posibilidades de optimización de los trayectos.

Las medidas para alcanzar la desvinculación del crecimiento económico y el transporte 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 con el objetivo de reducir el volumen transportado, reducir las distancias y aumentar la eficiencia. La mayor parte de las actuaciones de los Gobiernos se centran en medidas encaminadas a equilibrar la distribución modal, gestionar la demanda, promover cambios de comportamiento y continuar mejorando la eficiencia. En el transporte por carretera es necesario desarrollar normativas destinadas a mejorar la eficiencia de los camiones y furgonetas, como ya se ha hecho en el segmento de turismos.

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 diésel. Esto se refleja en una mayor movilidad tanto en desplazamientos diarios locales como en los no cotidianos, con viajes más frecuentes y más largos. Las actividades asociadas al tiempo libre adquieren un peso más importante en todos los

desplazamientos. El coche es fundamental para satisfacer esa movilidad (83% de los trayectos motorizados cotidianos y 78% de los viajes). Las preferencias de los consumidores pueden modificarse, dentro de la racionalidad económica, con la normativa fiscal. Esto ha sucedido con las ventajas de los vehículos diésel (con efectos contraproducentes) y ahora sucede con los vehículos de bajas emisiones. La mejora de la eficiencia del transporte en vehículos particulares dependerá de las mejoras en los vehículos de combustión interna y de la medida en que el despliegue de vehículos eléctricos, y en principio más bien los híbridos enchufables a la red, consiga alcanzar las economías de escala suficientes para hacerlos competitivos.

Las estrategias para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros pasan por maximizar la eficiencia de los vehículos, incrementar la accesibilidad y cambiar el comportamiento. Para ello los Gobiernos cuentan con instrumentos de planificación, regulación, económicos y de comunicación. Las medidas más importantes son el establecimiento de estándares, la reducción del peso de los vehículos y la reducción del coste de los vehículos híbridos y eléctricos. Campañas de comunicación enfocadas a determinados colectivos y destinadas al cambio de la percepción que sobre el transporte tienen los españoles serán clave para evolucionar hacia una cultura de la eficiencia. La implantación de las TIC en el transporte puede mover la balanza hacia formas de transporte más sostenibles.

En este capítulo se han propuesto algunas medidas adicionales o modificación de algunas medidas adoptadas para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros y de mercancías como son: establecer estándares revisados periódicamente; incentivar la venta de vehículos eléctricos con un sistema de subvenciones decreciente en el tiempo y vinculado a la sustitución y retirada de vehículos menos eficientes; modificar el impuesto de matriculación y circulación para incentivar la eficiencia dinámica; introducir un impuesto por el uso de infraestructuras; establecer una tasa de congestión en las grandes ciudades españolas; introducir políticas laborales que reduzcan las necesidades de movilidad; y realizar campañas de sensibilización enfocadas a determinados grupos de usuarios.

## ***9. Resumen y conclusiones***

9.1. Resumen ejecutivo.....	312
9.2. Reflexiones sobre la insostenibilidad del crecimiento económico español.....	324
9.3. Principales limitaciones y aportaciones de la tesis...	326

## 9.1. Resumen ejecutivo

### 9.1.1. Evolución de la intensidad energética en España

Durante los últimos 50 años ha existido un fuerte debate sobre la cuestión de si se está produciendo o se producirá una desmaterialización del crecimiento económico, una vez que se alcance un determinado nivel de desarrollo. Los defensores de las teorías de desmaterialización defienden que los países muestran una curva medioambiental en forma de U invertida, por lo que, llegado un determinado momento en el tiempo, el crecimiento económico puede llevar a una reducción del daño ambiental o del consumo energético. A pesar de que estas hipótesis han sido refutadas desde el punto de vista teórico y empírico por diversos investigadores, existen todavía defensores de las mismas. La cuestión que se debe matizar es si la desmaterialización es absoluta o relativa. Lo más habitual es un desacoplamiento relativo del consumo energético respecto al crecimiento económico, esto es, una reducción de la IE. Esto no significa un descenso del consumo energético, sino que significa que se crece de forma más eficiente energéticamente.

En general, los factores que afectan a la relación entre crecimiento económico y consumo energético son el cambio tecnológico, el cambio estructural, los precios de los combustibles, los combustibles utilizados, los cambios en las preferencias de los consumidores y el efecto saturación. El análisis del modelo planteado en el capítulo 2 con técnicas de datos de panel muestra que los factores que más han influido en la reducción de la IE en los países de la OCDE en el último cuarto de siglo han sido el crecimiento de la renta per cápita y la mayor utilización de la electricidad. El aumento de los precios reduce la IE, pero en menor medida. Por otro lado, la construcción de infraestructuras y viviendas y el aumento del equipamiento doméstico aumentan la IE de los países.

Para poder analizar a fondo la evolución de la IE en España numerosos investigadores consideran más adecuado utilizar la metodología de la descomposición de índices, puesto que permite profundizar en los sectores clave que impulsan la IE en los países y donde radican las diferencias con los países de su entorno. En el capítulo 3 se realiza una descripción de las distintas metodologías, sus ventajas e inconvenientes y se elige el método LMDI I por su fundamento teórico y las ventajas prácticas para su aplicación (descomposición perfecta, consistencia en agregación y posibilidad de incluir cuántos factores se estimen oportunos).

En el capítulo 3 se realiza un análisis de la desagregación completa de la IE en España. Esto significa que se tienen en cuenta todos los usos energéticos en España y toda la producción de valor añadido bruto, a diferencia de otros estudios que se concentran

fundamentalmente en el sector industrial, dejando sin explicar más del 50% del consumo energético.

La desagregación completa de la IE tiene ciertas limitaciones. Una de ellas se refiere a las convenciones adoptadas por la IEA acerca de la contabilización de la energía nuclear, ya que penaliza comparativamente a los países que cuentan con abundante generación nuclear. Otra es que el consumo final de los sectores no incluye el consumo energético necesario para generar electricidad, ni el transporte utilizado por los sectores (esto es, los consumos indirectos). Además, las importaciones y exportaciones llevan consigo una huella energética ambiental que no se tiene en cuenta en los balances energéticos. Finalmente, la economía sumergida lleva a sobrevalorar la IE de algunos países.

A pesar de estas limitaciones el análisis de desagregación del ratio de la IE permite analizar la evolución en España, conocer las principales diferencias con Europa e identificar de manera provisional los sectores clave en España. Para determinar cuáles son los sectores clave definitivos se necesita contabilizar los consumos directos e indirectos de los sectores, como se propone en el capítulo 4.

El análisis del capítulo 3 señala que en 2006, la IE española (contabilizada en tep/M€ constantes de 1995) se situaba un 29% por encima de la de la UE15. Entre 1980 y 2004 la IE aumentó un 10% en España, pero en 2005 y 2006 la IE se redujo considerablemente (-4% en esos dos años). Esta reducción podría mantenerse hasta que España vuelva a la senda de crecimiento económico.

En la evolución del indicador en España influye la estructura económica y la eficiencia energética. La mayor parte de las conclusiones se centran en el primer aspecto, puesto que la agregación de actividades en la contabilidad nacional y en los balances energéticos impide un análisis en profundidad de la eficiencia energética de los procesos productivos, para lo que sería necesario recurrir a un análisis de abajo arriba (*bottom-up*).

Entre 1980 y 2006 el sector que más ha impulsado el crecimiento de la IE ha sido el transporte de mercancías y viajeros, que ha sido compensado por la favorable evolución de la industria. El aumento de la inmigración, el empleo y la renta per capita han impulsado el consumo energético de los hogares españoles por la compra de viviendas y electrodomésticos y es el segundo sector que más influye en la IE. Los hogares en la UE15 consumen más energía que los españoles. Esta diferencia se reducirá por el aumento de la demanda energética derivada de los cambios socioculturales de una sociedad española con menos tiempo para las tareas domésticas y que demanda electrodomésticos más rápidos y sofisticados. Además, el potencial de sustitución y mejora de los sistemas de calefacción y aislamientos es limitado en España por tener un clima más templado.

En el capítulo 4 se ha realizado un análisis de la IE diferente al habitual, puesto que se ha asignado a cada sector el consumo energético asociado al transporte y a la transformación de energía primaria en final (consumos indirectos). Estos consumos indirectos son muy cuantiosos (60% del consumo energético español) por lo que el reparto por sectores modifica completamente el balance energético, que en su versión tradicional oculta información relevante. Los resultados muestran que al incluir los consumos indirectos se modifica el nivel de las IE sectoriales: metales básicos (con 711 tep/M€ frente a 397€/M€ anteriormente), química (643 tep/M€ frente a 349€/M€), alimentación (571 tep/M€ frente a 188€/M€), y agricultura (384 tep/M€ frente a 142€/M€). Los mayores crecimientos de la IE se producen a partir de 1995. Y las razones que explican un mayor nivel de IE en España y su evolución entre 1995 y 2006 son:

- 1. Las demandas de transporte y de electricidad constituyen el principal componente del consumo de los sectores y son el factor clave en el nivel de IE del país.** Las acciones para mejorar la eficiencia energética de los sectores productivos se circunscriben principalmente a la gestión de la demanda de electricidad y transporte, puesto que frecuentemente apenas se puede controlar la eficiencia de la producción de esos servicios. En el caso de las compañías eléctricas los incentivos económicos para mejorar la eficiencia energética en el suministro en un entorno liberalizado, en principio dependen de la regulación específica de cada actividad (generación, transporte, distribución, comercialización, operación del sistema); y sólo fomentarán la eficiencia energética de sus clientes cuando la lógica operativa y comercial lo aconseje. En el caso de las empresas transportistas, debido al tipo de producto transportado (alimentos, minerales no metálicos y productos agrícolas) existe poco margen para el cambio hacia modos de transporte más eficientes. Por otro lado, los desarrollos tecnológicos no parecen haber avanzado lo suficiente como para anticipar una mejora notable de la eficiencia de las flotas.
- 2. El importante peso del sector residencial en la evolución de la IE.** El sector residencial es el mayor consumidor de energía en el país (34% del total) e influye en la IE a través del consumo en los hogares y en el transporte. En el caso del transporte privado, el incremento de la movilidad y la preferencia por utilizar el vehículo particular para los desplazamientos ha impulsado la IE total de forma significativa. Dada la importancia del transporte y el sector residencial en la evolución del indicador se dedican los capítulos 7 y 8 a un análisis más profundo
- 3. La especialización económica condiciona el nivel y la evolución de la IE.** Los datos muestran que la economía española concentra sus actividades en subsectores de menor valor añadido - productos siderúrgicos, cemento y ladrillo - asociados a la construcción. Pero incluso en actividades menos intensivas en energía, como es el sector de servicios, los datos muestran que la actividad económica se concentra en

aquellas ramas – hostelería y el comercio - que necesitan relativamente más energía. El alto porcentaje del VAB en relación a otros países europeos que ha sido producido por la construcción, la agricultura y el turismo, hace que España sea estructuralmente más intensiva en energía. En el período analizado la agricultura empieza a reducir la IE por el efecto estructural y es previsible que ocurra lo mismo a partir del año 2008 para la construcción, convergiendo así hacia la estructura económica de los países europeos más avanzados.

4. **La demanda de viviendas ha condicionado fuertemente el comportamiento del conjunto del sector industrial, que ha mejorado su IE pero no tanto como lo han hecho otros países europeos.** En efecto, la industria ha tenido un buen comportamiento entre 1980 y 2006, y los mayores avances se han producido en las actividades industriales más intensivas en energía -metales básicos y minerales no metálicos. No obstante, a partir de 1995 las IE de estas actividades muestran repuntes, debido a la fuerte demanda de materiales para la construcción, lo cual les hace responsables de una buena parte de la diferencia de IE con la UE15.
- a. En los metales básicos la mejora de IE se debe a la sustitución de carbón y fuel por electricidad y gas en sus procesos de producción debido a la sustitución del acero integral por el acero eléctrico. Este sector se concentra en los productos de mayor IE ligados en gran medida a la construcción de viviendas e infraestructuras y, por ello, su nivel de IE es muy superior al de la UE15.
  - b. Los minerales no metálicos son la rama industrial que más influye en la evolución de la IE española cuando se incluyen los consumos indirectos. Su producción se destina principalmente a la construcción de infraestructuras y viviendas, que han experimentado un crecimiento sin precedentes debido a los bajos tipos de interés, al aumento de la población inmigrante y al crecimiento de la renta per capita, principalmente. La marcada influencia de este sector en la IE contrasta con la reducción del indicador que se observa en un análisis tradicional, que no incluye los efectos indirectos. Una parte importante de la diferencia se debe al notable efecto arrastre que este sector produce en el transporte, pero también por el consumo de electricidad.

### **9.1.2. Cómo afecta la intensidad energética a la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España y a la seguridad de suministro**

Para luchar contra el cambio climático resulta muy importante que los países pongan en marcha medidas concretas que persigan desvincular el crecimiento económico del

deterioro ambiental. Aunque la Unión Europea está liderando en este área, los Gobiernos de sus Estados miembros tan sólo están logrando consensuar compromisos políticos, puesto que los resultados no se están materializando. Europa difícilmente cumplirá internamente con los objetivos marcados en el protocolo de Kioto internamente y tendrá que comprar derechos de emisión de otros países.

El caso de España es mucho peor, pues ningún Gobierno ha conseguido mitigar el fuerte crecimiento de las emisiones de GEI, dada la estrecha relación que con éstas mantiene el crecimiento económico. Esta fuerte divergencia entre los resultados y los objetivos se debe a una falta de previsión respecto a la evolución del PIB y la población en la negociación de los objetivos para España, que son, en términos per cápita, un 27% más exigentes que la media europea (UE15).

Los factores que impulsan el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> (indicadores de Kaya) son la actividad (o crecimiento económico), la población, la IE y el índice de descarbonización, que a su vez puede dividirse en el porcentaje del abastecimiento cubierto con combustibles fósiles y los factores de emisión de los combustibles fósiles. En general, el incremento del PIB ha sido el principal impulsor del crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en los países. La inmigración ha impulsado, por otro lado, el efecto población desde 1999. Estos dos factores se suelen compensar con la mejora de la IE de los países y la descarbonización de sus suministros. No obstante, la economía española no ha conseguido ser más eficiente energéticamente, ni reducir el contenido de carbono de su abastecimiento, a diferencia de la UE en su conjunto, que sí lo ha hecho hasta el punto de mitigar completamente el efecto actividad.

Las emisiones per cápita españolas convergen a niveles europeos, al igual que lo hace la IE. La clave radica en si España seguirá con la misma tendencia de crecimiento o la invertirá en el medio plazo, puesto que en el corto plazo la crisis económica tendrá un efecto inmediato en la mejora de ambos indicadores.

En el capítulo 5 se ha puesto de manifiesto que la evolución de la IE es la principal diferencia entre España y la UE15 cuando se analizan los factores determinantes de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Pero también el índice de carbonización del abastecimiento energético es clave para la evolución de este indicador. El análisis realizado muestra las claves que permiten comprender la evolución de las emisiones entre 1990 y 2006. En este período se tiende hacia la electrificación de los consumos finales, lo que traslada buena parte de las emisiones al sector eléctrico. En consecuencia la demanda de electricidad se ha duplicado en el período analizado y el sector ha sido incapaz de descarbonizarse porque partía de unos niveles de emisión muy bajos. El crecimiento de las energías renovables hasta 2006 no ha tenido un impacto significativo en el promedio del sector, debido al también fuerte incremento de la demanda de electricidad. Además, los precios de los combustibles no han

incentivado la sustitución de carbón por gas en España y el mercado de emisiones tampoco ha ayudado.

El transporte es el segundo sector responsable de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, con el agravante de que no está controlado por ninguna normativa ligada al mercado de emisiones u otro mecanismo regulatorio. Junto a este sector difuso el sector residencial está adquiriendo un peso importante en las emisiones totales.

Utilizando la metodología presentada en el capítulo 4 se han estimado las emisiones directas e indirectas de los sectores, llegando a similares conclusiones: los minerales no metálicos son los principales responsables del crecimiento de las emisiones, por el fuerte efecto arrastre que producen en el transporte de mercancías; las emisiones del sector terciario han crecido considerablemente, sobre todo por la demanda de electricidad; y el sector residencial muestra una tendencia descontrolada con crecimientos de sus emisiones en los hogares y el transporte privado en el entorno del 50%.

Las simulaciones realizadas a 2020 muestran que es difícil alcanzar el objetivo planteado en el seno de la UE15, incluido en la Ley de Economía Sostenible, con las estimaciones de crecimiento económico del Banco de España, por lo que si el PIB crece a un ritmo mayor, los objetivos serán probablemente inalcanzables debido a la fuerte vinculación del crecimiento de las emisiones al PIB.

La desmaterialización de la economía española se producirá si se converge hacia niveles europeos de eficiencia, lo que significa un alejamiento de las actividades productivas más intensivas en energía y una especialización en aquellas de mayor valor añadido. En este sentido, en los próximos años parece probable que la moderación de la actividad de construcción reduzca de forma importante el consumo energético directo e indirecto de las actividades asociadas a este sector. Así que la coyuntura económica reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El mayor reto se encuentra en la reducción de las emisiones del transporte, por la dificultad de vencer su inercia y descarbonizar la energía que consume. Dentro de las alternativas planteadas, la mayor penetración de los biocombustibles es la que tiene mayor potencial de reducción.

El potencial de sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía alternativas es aún enorme, además de que es inevitable, por la escasez de reservas, que esta sustitución se produzca en el futuro. El mayor problema es que los combustibles más baratos, carbón o petróleo, son los que más emisiones de CO<sub>2</sub> producen, y las alternativas tecnológicas para reducir sus emisiones (captura y secuestro de carbono), si fuesen factibles, no se plantean en el corto plazo. Por otra parte el aumento de la capacidad instalada de las energías renovables no ha generado aún las economías de

escala necesarias para hacerlas competitivas, en especial para las tecnologías poco maduras y con precios del CO<sub>2</sub> todavía muy insuficientes. Por lo tanto los incentivos económicos actuales encarecen el abastecimiento energético y las tensiones en la factura eléctrica aumentan en paralelo a la introducción de más energías renovables.

El reparto de responsabilidades de reducción entre los sectores incluidos en la próxima asignación de derechos de emisión a nivel europeo obligará a los sectores más intensivos en energía a reducir sus emisiones, por lo que los Gobiernos deberían concentrar sus esfuerzos en aquellos sectores no incluidos en este régimen, en especial el sector residencial y el transporte. Dada la idiosincrasia de estos dos sectores, las emisiones han crecido de forma imparable y se necesitan muchos más esfuerzos, políticas y medidas más exigentes para la contención de ese crecimiento. En definitiva, que España cumpla con los objetivos europeos dependerá de la medida en que tenga controlados estos dos sectores.

El riesgo de interrupción de suministro en España depende de la dependencia energética de la economía, de la capacidad de los sectores para sustituir los combustibles demandados, del peso de los sectores intensivos en energía en la economía, de la diversificación de los suministros energéticos y de la capacidad de interconexión eléctrica y de gas con otros países.

La dependencia energética española es muy alta, superior al 80% en la mayoría de los sectores, y ha mantenido una senda creciente. Los sectores más dependientes son el transporte, la agricultura, la industria química y los minerales no metálicos. El sector eléctrico tiene una dependencia mucho menor (un 55%) gracias a la generación hidráulica y renovable. El aumento de la dependencia se debe al incremento de la actividad económica principalmente, que se ha visto perjudicada por el empeoramiento de los ratios de IE. Nuevamente son el transporte (mercancías y privado) y los minerales no metálicos los mayores responsables del incremento de las importaciones energéticas en España.

El riesgo de aprovisionamiento energético de los combustibles converge hacia niveles semejantes y los sectores económicos tienen unos niveles de riesgo similares. En el caso del riesgo por combustible la diversificación de los aprovisionamientos de gas, con la entrada en funcionamiento de plantas regasificadoras, ha logrado la convergencia con los niveles de riesgo del carbón o el petróleo. Los sectores que incurren en más riesgos en su consumo energético han sido aquellos que demandan más productos petrolíferos (transporte, agricultura, química y minerales no metálicos). En el otro extremo se sitúan los sectores en los que la electricidad cubre una parte muy importante de su consumo energético (residencial y terciario).

Los aprovisionamientos en España, en general, están bastante diversificados geográficamente, excepto en el transporte. Es destacable la notable mejora de la

diversificación de los suministros de gas y la flexibilidad del sistema gasista, gracias a la construcción de instalaciones de regasificación de Gas Natural Licuado.

Las recomendaciones para aumentar la seguridad de suministro se resumen en las siguientes:

- Políticas de demanda destinadas a: reducir la IE y fomentar un cambio estructural hacia actividades de mayor valor añadido; mejorar la eficiencia energética en todos los sectores incluyendo medidas de gestión de la demanda; e implementar los cambios estructurales en el sistema de transporte encaminados a sustituir los productos petrolíferos por otras fuentes energéticas.
- Políticas de oferta que persigan: aumentar la producción con recursos autóctonos (energías renovables); ampliar la vida útil de las centrales nucleares; diversificar los orígenes de las importaciones de materias primas considerando los niveles de riesgo de los países; y aumentar las interconexiones eléctricas con Francia.
- Políticas transversales encaminadas a: fomentar la I+D+i para el desarrollo de nuevas opciones tecnológicas (en eficiencia energética, energías renovables y redes energéticas); favorecer relaciones de confianza con los suministradores; y transmitir señales de precio adecuadas.

### **9.1.3. Los sectores residencial y transporte**

El comportamiento del sector residencial seguirá teniendo un papel fundamental en la evolución de la IE y es necesario abordarlo con seriedad, si se quiere reducir la dependencia energética y mitigar el crecimiento de emisiones en España. La evolución del sector ha sido diferente a la europea porque, partiendo de niveles de IE más bajos por las mejores condiciones climáticas y una menor renta per cápita, se ha convergido hacia niveles europeos. Además, este sector arrastra el consumo de otros sectores tanto en consumos indirectos de la demanda de electricidad como por la importante demanda de minerales no metálicos (cemento, ladrillos, cerámica, etc.) para la construcción de viviendas.

El crecimiento del consumo energético en los hogares se ha producido principalmente por la compra de viviendas por parte de españoles, inmigrantes y otros extranjeros. Además, se ha producido un importante crecimiento del número de segundas residencias desde el año 2001 por el aumento de la renta de los españoles, los bajos tipos de interés y el atractivo del país como destino vacacional o de jubilación de la población europea.

El incremento del consumo de las nuevas viviendas no se ha compensado con una mejora en la eficiencia energética de las edificaciones. Ni la planificación urbana ni los edificios se han diseñado con criterios de eficiencia energética, los materiales utilizados se encuentran entre los más contaminantes y los sistemas energéticos utilizados no son los más eficientes, ni integran la respuesta térmica del edificio. Existe un gran potencial de integrar energías renovables en los edificios en España y de potenciar la cogeneración. No obstante, la elección y utilización del sistema de calefacción están muy influidas por la zona climática donde se ubica la vivienda y por el tamaño de la vivienda.

Por lo que se refiere al equipamiento doméstico, su consumo energético no es proporcionalmente el más significativo, pero es el que tiene un potencial de crecimiento mayor. En su conjunto el consumo de electricidad en España ha aumentado un 82% entre 1995 y 2006, tendencia que se ha visto favorecida por unos precios de la electricidad que se han reducido y que se sitúan entre los más bajos de Europa.

Las inversiones para la materialización del supuesto gran potencial de ahorro energético en los hogares no acaban de despegar, porque la racionalidad económica de los consumidores lo desaconseja y porque los mercados energéticos no son perfectos y están llenos de fallos que alejan las inversiones de su punto óptimo. Las principales barreras se engloban en torno a tres áreas:

- Rentabilidad de la inversión: por precios reducidos y volátiles; por altos costes de capital inicial que conllevan períodos largos de recuperación de las inversiones; y por la incertidumbre e irreversibilidad de las inversiones.
- Aspectos estructurales: por modelos de negocio no propicios para la eficiencia energética; por la fragmentación de tareas en la construcción de viviendas; por la difusión lenta de las tecnologías más avanzadas; por el desequilibrio entre las atribuciones concedidas a las autoridades locales y el nivel de capacitación disponible.
- Entendimiento del individuo: por la falta de información para evaluar las inversiones; por la racionalidad acotada; por el problema del “agente principal”; y por cuestiones culturales o de sensibilización.

Los aspectos socioculturales (familias reducidas, incorporación de la mujer al mundo laboral, nuevas necesidades, etc.) condicionan el consumo energético de los hogares, aunque su impacto es difícilmente medible. En el caso del ahorro energético, desde un punto de vista sociológico, el problema radica en que las familias españolas tienen cierta “miopía” al percibir el ahorro energético como una reducción de su calidad de vida, excluyendo de ese concepto inversiones que reducirían el consumo del hogar con

igual nivel de confort, como ocurre en la compra de la vivienda, la elección de una caldera más eficiente, la elección de electrodomésticos, etc.

Las medidas aprobadas por el Gobierno para mejorar la eficiencia energética de los hogares parecen insuficientes para afrontar estas barreras, que dificultan la consecución de los objetivos ambientales en el área de las emisiones difusas.

En el capítulo 7 se muestran una serie de instrumentos regulatorios que pueden ayudar a cambiar estas tendencias y que se agrupan en cuatro grandes áreas: instrumentos económicos, medidas de “control y mando”, mejora de la información e incentivos. Ninguno de ellos es óptimo y se deberían utilizar combinaciones de instrumentos para promover el ahorro y la eficiencia energética, puesto que puede que el potencial de un instrumento se refuerce con otro instrumento.

Las recomendaciones recogidas en el capítulo para mejorar la eficiencia energética de los hogares son:

- Dar señales adecuadas de precios. En concreto, la electricidad supone un porcentaje alto y creciente del consumo energético de los hogares – aunque en términos de coste no suponga un componente significativo del presupuesto familiar - y es absurdo – aparte de otras consideraciones de carácter específicamente regulatorio eléctrico – que en la actualidad una importante barrera para fomentar un uso racional de la electricidad sea la ausencia de una tarifa que recoja todos los costes incurridos. También se debe progresar, con la prudencia que requiere la adopción masiva de una nueva tecnología, en el despliegue global de contadores digitales y en proporcionar información de precios en tiempo real a los consumidores finales.
- Poner estándares mínimos. En los electrodomésticos y aparatos electrónicos, las normas de etiquetado energético son positivas porque ofrecen margen para la elección por parte del consumidor, pero se debe establecer una normativa que ponga límites mínimos de eficiencia para todos ellos y también estándares más estrictos en iluminación. En caso de generar efectos no deseados, como el efecto rebote o *free riding*, se pueden introducir medidas correctoras.
- Revisar y endurecer los Códigos Técnicos de Edificación periódicamente. Los incentivos para la rehabilitación de viviendas deberían estar enfocados a determinados colectivos para minimizar el *free riding* y acompañarse de campañas de información o cláusulas que minimicen el efecto rebote.
- Informar. Las campañas informativas de sensibilización pueden complementar estas medidas pero deben enfocarse a determinados grupos (jóvenes, mayores, rentas más bajas), aprovechar sinergias con las acciones efectuadas en las

empresas e introducir la asignatura de eficiencia energética en los currículos educativos.

- Crear un marco seguro para las inversiones. Los apoyos públicos para incentivar la eficiencia energética deben guiarse por los principios de transparencia, sencillez, estabilidad, suficiencia y predictibilidad y acompañarse de mecanismos de seguimiento, evaluación y control.
- Formar a los organismos públicos. Dada la distribución de competencias entre Administraciones, es necesario destinar recursos para la formación y capacitación de las instituciones locales que tengan la competencia en materia de eficiencia energética.

Por su parte, los sistemas de transporte han sido capaces en los últimos decenios de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, aumentar la competitividad de la economía y reforzar la cohesión social y territorial, pero al mismo tiempo han ocasionado fuertes presiones sobre la atmósfera, la salud de los ciudadanos y los ecosistemas.

La fuerte movilidad de mercancías y viajeros ha convertido al sector del transporte en el primer demandante de energía. Este consumo energético afecta a la IE del país, a la dependencia energética y produce una serie de externalidades ambientales, como son las emisiones de contaminantes locales y globales que repercuten en el medioambiente (cambio climático, calidad del aire, etc.) y en la salud de los españoles.

Un análisis de la movilidad en España muestra que tanto el transporte de mercancías como el de viajeros son poco eficientes en términos energéticos. En el caso de las mercancías los factores que contribuyen a empeorar la IE son: el transporte de productos de bajo valor añadido, la localización geográfica, los bajos precios de los combustibles, la globalización y la especialización productiva de la economía española y la demanda de suministros rápidos a distancias cortas. Con un predominio del transporte por carretera, el tipo de servicio demandado no favorece al cambio modal hacia medios de transporte más eficientes.

Las medidas para alcanzar la desvinculación del crecimiento económico y el transporte 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 con el objetivo de reducir el volumen transportado, reducir las distancias y aumentar la eficiencia. La mayor parte de las actuaciones de los Gobiernos se centran en medidas encaminadas a equilibrar la distribución modal, gestionar la demanda, promover cambios de comportamiento y continuar mejorando la eficiencia. En el transporte por carretera es necesario desarrollar normativa destinada a mejorar la eficiencia de los camiones y furgonetas, como ya se ha hecho en

el segmento de turismos. En el caso español, en concreto, la fragmentación del sector es una oportunidad para su consolidación, lo que repercutirá en la eficiencia de las operaciones por las mayores posibilidades de optimizar los trayectos.

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 diésel. Esto se refleja en una mayor movilidad tanto en desplazamientos diarios locales como en los no cotidianos, con viajes más frecuentes y más largos. Las actividades asociadas al tiempo libre adquieren un peso más importante en todos los desplazamientos y el coche es fundamental para satisfacer esa movilidad.

Las estrategias para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros pasan por maximizar la eficiencia de los vehículos, incrementar la accesibilidad y cambiar el comportamiento. Para ello los Gobiernos cuentan con instrumentos de planificación, regulación, económicos y de comunicación.

La mejora de la eficiencia del transporte en vehículos particulares dependerá de las mejoras en los vehículos de combustión interna y de la medida en que el despliegue de vehículos híbridos y eléctricos consiga alcanzar las economías de escala suficientes para hacerlos competitivos. Por ello, las medidas más importantes pasan por el establecimiento de estándares progresivamente más estrictos, la reducción del peso de los vehículos y la reducción del coste de los vehículos híbridos y eléctricos. El aumento de alternativas al transporte y una normativa más restrictiva en cuanto al uso del vehículo privado son también necesarios.

La evidencia empírica demuestra que se pueden modificar las preferencias de los consumidores con la normativa fiscal, dentro de la racionalidad económica. Dos ejemplos de esto son la ventaja fiscal de los vehículos diésel (con efectos contraproducentes) y la reducción del impuesto de matriculación con los vehículos de bajas emisiones. Las campañas de comunicación, enfocadas a determinados colectivos y destinadas al cambio de la percepción sobre el transporte, serán clave para evolucionar hacia una cultura de la eficiencia. La implantación de las TIC en el transporte puede mover la balanza hacia formas de transporte más sostenibles.

En el capítulo 8 se proponen algunas medidas para mejorar la eficiencia energética del transporte de viajeros y de mercancías en España como son: establecer estándares revisados periódicamente; incentivar la venta de vehículos híbridos y eléctricos con un sistema de subvenciones decreciente en el tiempo y vinculado a la sustitución y retirada de vehículos menos eficientes; modificar el impuesto de matriculación y circulación para incentivar la eficiencia dinámica; introducir un impuesto por el uso de infraestructuras; establecer una tasa de congestión en las grandes ciudades españolas;

introducir políticas laborales que reduzcan las necesidades de movilidad; y realizar campañas de sensibilización enfocadas a determinados grupos.

## **9.2. Reflexiones sobre la insostenibilidad del crecimiento económico español**

La investigación realizada en esta tesis doctoral pone de manifiesto que la IE española es víctima del modelo económico español. El crecimiento sin precedentes de la economía española ha tenido como consecuencia la reducción de la tasa de desempleo hasta niveles mínimos y una renta per capita igual a la de los italianos. La construcción masiva y el turismo de bajo coste han proporcionado un crecimiento económico espectacular, pero implican fuertes demandas de energía. Mientras, las economías más avanzadas en la UE15 se han especializado en actividades de mayor valor añadido.

El crecimiento económico de los últimos años y los bajos tipos de interés han reforzado la “cultura del ladrillo” española, convirtiendo a la construcción en el motor de la economía española. La consecuencia para la IE ha sido doble. Por un lado, la fuerte demanda de materiales de construcción (cemento, ladrillo, acero, etc.), que son muy intensivos en energía. Por otro, el incremento de la población inmigrante, que ha cubierto la demanda de empleo de la construcción, y el aumento de riqueza de los españoles, han generado un incremento de la demanda energética para el transporte, los hogares y los servicios.

Además, el sector servicios se ha especializado en actividades como la hostelería y el comercio, que son más intensivas en el consumo de energía. Un giro del turismo hacia actividades de mayor valor añadido tiene mucho potencial y reconduciría al sector hacia una mayor sostenibilidad energética y ambiental.

Los excesos de un crecimiento muy desequilibrado y poco diversificado se han manifestado abruptamente en los años 2008 y 2009. En el año 2009 la economía española ha perdido parte de las ganancias obtenidas en el período anterior de bonanza económica, porque el éxito económico español se ha basado en una parte importante en sectores de bajo valor añadido, en vez de lograrlo a través de la educación, la formación y el desarrollo tecnológico.

Por lo que una conclusión importante es que la IE española es víctima de los mismos problemas que la economía española: baja productividad laboral, deficiente sistema de educación, falta de empresarios innovadores, reducida actividad investigadora, etc.

No obstante, existen empresas líderes mundiales que han marcado la diferencia en sectores como la energía, las comunicaciones, el sector textil, la banca, y sería

conveniente que estas empresas se convirtiesen en el motor de la recuperación económica y del crecimiento económico futuro, esta vez más sostenible.

En especial, los mayores esfuerzos de las políticas públicas se deberían destinar a la I+D+i en energías renovables y vehículos eléctricos y en fomentar alternativas al transporte (ferrocarril, vehículos eléctricos, biocombustibles) a través de planes de formación de los excedentes de mano de obra de la construcción, y sobre todo, con incentivos que atraigan profesionales expertos en la materia del mundo entero. En definitiva se trata de que los recursos públicos se destinen a medidas “inteligentes y sostenibles”, que creen empleo de calidad, que sean beneficiosas con el medio ambiente y que hagan que el país sea más competitivo. Al contrario de lo que se está haciendo en estos momentos, con medidas destinadas a promover un carbón nacional ineficiente y contaminante, o con ayudas a “fondo perdido”. Esto no significa gastar más, por ejemplo en subir las primas de las energías renovables, sino crear marcos de apoyo para las inversiones predecibles y flexibles, de manera que se ajusten a los avances tecnológicos y requieran mejoras tecnológicas continuas que reviertan en reducciones de costes. Esto significa pasar del dinero “fácil” al dinero “inteligente” y cambiar la “cultura del sol y el ladrillo” por una cultura de la “innovación y la sostenibilidad”.

La IE se reducirá posiblemente entre 2007 y 2009 por el descenso de la producción industrial, y la construcción en particular, pero la clave está en que la recuperación económica prevista para 2010-2011 se base en un crecimiento sostenible energética y ambientalmente. La desmaterialización relativa de la economía sólo se podrá confirmar cuando pasen varios años de descensos de la IE en un contexto de crecimiento económico.

Otra conclusión importante es que la electricidad y el transporte se han convertido en los principales proveedores de servicios energéticos. Más del 50% de la energía consumida directa o indirectamente por los sectores productivos viene de estas fuentes, por lo que la eficiencia energética gestionable se limita a la mitad de sus consumos y a la gestión de la demanda de electricidad. La gestión de la demanda de transporte es más complicada, puesto que es el instrumento de acceso a mercados potenciales, y existe un interés comercial en incrementar el transporte en la medida que eso significa llegar a más mercados.

En la actualidad las empresas eléctricas o transportistas tienen incentivos comerciales para seguir aumentando las ventas de sus servicios y las ESCOS no han despegado en España, principalmente por los bajos precios de la energía (tanto en la electricidad como en el transporte), pero también porque no han recibido el apoyo público necesario al inicio de esta actividad.

Las medidas adoptadas para frenar sus emisiones son escasas y sus resultados han sido nimios. La reducción de las emisiones se ha logrado por factores coyunturales (clima, descenso de la construcción) y no por el éxito de las políticas públicas.

Resolver la problemática del transporte es el principal reto para alcanzar un desarrollo sostenible. El crecimiento de la movilidad de personas ha sido imparable. El principal problema se encuentra en la utilización del vehículo privado, pero el transporte aéreo está creciendo también y de forma exponencial. En el transporte privado el principal reto está en frenar la inercia de demanda de movilidad durante el tiempo libre. Esto requiere cambios profundos y “contra corriente” en los ciudadanos. Como esto último es difícil de alcanzar, se deben redoblar esfuerzos con el objetivo de lograr un transporte de cero emisiones.

En el caso del de mercancías, la dinámica comercial y la globalización de los mercados dificulta el desacoplamiento del transporte respecto a la creación de valor añadido. Las alternativas al transporte tradicional están lejos de compensar el incremento de la demanda de movilidad. Por todo ello, el transporte seguirá aumentando la movilidad en el futuro y es necesario destinar muchos más recursos y esfuerzos para poder llevar a cabo medidas que marquen la diferencia.

Finalmente, un incremento de los precios energéticos incentivaría a que familias y empresas modifiquen su demanda energética y por tanto su IE. El problema quizás es que los Gobiernos y la oposición no están convencidos de que la sociedad apoye una subida generalizada de los precios para luchar contra el cambio climático. Esto significa que creen que, aunque el cambio climático es una preocupación para la sociedad, no lo es tanto como para sacrificar una parte de sus ingresos y de su forma de vida. Ojalá estén confundidos.

### **9.3. Principales limitaciones y aportaciones de la tesis**

La principal aportación de esta tesis es una valoración rigurosa, profunda y, por primera vez completa, sobre la evolución de la IE en España. Esta valoración se ha ido construyendo a lo largo de la tesis. Para ello se ha utilizado la definición más amplia de la IE, esto es, la que considera todos los consumos energéticos. Esto tiene algunos inconvenientes que se han ido señalando a lo largo de esta tesis (tratamiento de la energía nuclear, la sobre valoración de los ratios de IE del transporte y las deficiencias estadísticas). No obstante, la autora considera que los beneficios de utilizar el indicador completo superan estos inconvenientes. La inclusión del transporte en el análisis es fundamental, al ser este sector determinante de las emisiones de GEI o de la dependencia energética de la economía española. Los hogares influyen en el ratio de

IE, puesto que suman en el numerador pero no en el denominador, su inclusión permite monitorizar su evolución e incidencia en el ratio, y resulta un sector clave para mejorar la eficiencia energética en España. Finalmente, al considerar la IE final en vez de la IE total se evita el tratamiento del sector energético, pero esto es una omisión importante, puesto que muchos sectores están sustituyendo el consumo de combustibles fósiles por electricidad, lo cual beneficia a la IE final, puesto que la energía consumida para generar esa electricidad está incluida en el consumo del sector eléctrico.

La falta de información estadística energética en algunos sectores y usos constituye la principal limitación de la tesis. Uno de los aspectos estadísticos que se debe mejorar es lograr una mayor desagregación del consumo energético, que permita entender dónde, en qué procesos y para qué se están utilizando los recursos energéticos en los sectores económicos. En concreto, se deben mejorar las estadísticas de:

- Transporte. La falta de desagregación de las estadísticas de la IEA entre transporte de mercancías y viajeros es un obstáculo enorme para la comprensión del indicador. En este trabajo se ha utilizado la información suministrada por el IDAE, que debiera publicarse periódicamente y para todos los países de la OCDE. No obstante estas estadísticas tienen sus problemas, básicamente por la falta de especificación sobre el sector que demanda ese transporte y porque las estadísticas del transporte en turismos pueden estar incluyendo transporte realizado por parte de alguna actividad productiva. En esta tesis se ha utilizado las estadísticas de la EPTMC para estimar la demanda de energía para transporte por sector. No obstante, la EPTMC sólo recoge datos del transporte en camiones de más de 3 toneladas por lo que no da información sobre las mercancías transportadas por las furgonetas. Aunque estimamos que será similar, se debería perfeccionar esta estimación con datos del sector. Otro problema es que la EPTMC no clasifica la información de la misma manera que las cuentas nacionales, por lo que se pierde nivel de detalle y la categoría de otros incluye transporte realizado para actividades del sector servicios. Dada la importancia energética y medioambiental del transporte se debería recopilar estadísticas que desglosaran el consumo de energía de transporte vinculado a cada sector económico.
- Residencial. Las estadísticas del consumo energético de los hogares necesitan mejorarse puesto que la distinción entre el consumo de pequeñas empresas y los hogares no está muy clara. Además, no se conoce cómo se reparte el consumo dentro del hogar (calefacción, aire acondicionado, iluminación, etc), tan sólo se cuenta con alguna estimación realizada en la E4. Esto se convierte en especialmente complicado en el caso de la electricidad por la gran cantidad de electrodomésticos y equipos electrónicos utilizados.

- Terciario. Dada la importancia de este sector en la economía española, se debería mejorar la recogida de información estadística. A la dificultad de distinguir entre consumo doméstico y consumo terciario, se une la falta de información sobre el consumo energético de las distintas actividades incluidas en esta amplia categoría, como son la hostelería, el comercio (tanto en tiendas como en grandes almacenes y centros comerciales) en oficinas, en centros educativos y hospitalarios, en la Administración Pública, etc.

En la medida de lo posible se ha intentado buscar fuentes de datos alternativas de los sectores clave en la evolución de la IE para entender, de forma no tan completa como hubiese sido deseable, la problemática de algunos sectores (minerales no metálicos, metales básicos y turismo) y de forma un poco más profunda otros (residencial y transporte). El análisis específico de cualquiera de estos sectores es un área de investigación a futuro que podría ayudar al diseño de políticas públicas más específicas que reduzcan la IE.

Otra área de mejora estadística se encuentra en la Contabilidad Nacional. En primer lugar, porque no se publican series estadísticas en bases homogéneas y es necesario realizar ajustes. En segundo lugar, porque se ha cambiado recientemente la forma de contabilizarla, dejando de publicar las cuentas en euros constantes. En tercer lugar, porque Eurostat actualiza constantemente la información por lo que es difícil replicar los resultados.

Otra cuestión que no se ha analizado con detalle y que podría arrojar conclusiones importantes es la influencia de los precios energéticos en la evolución de la intensidad energética. El análisis comparativo de los precios españoles y europeos podría quizás explicar la especialización de España en actividades más intensivas en energía.

En el capítulo 2 la principal aportación es la realización de un análisis con metodología de datos de panel para determinar cuáles son los factores que más han influido en la IE en la OCDE. La literatura del ramo recoge varios análisis de este tipo, así que lo que aporta este modelo es la inclusión de nuevos factores, como son la construcción o el consumo de los hogares, junto con las variables clásicas (renta per cápita, precios y electricidad). Esto es relevante porque a lo largo del crecimiento económico se producen períodos de inversiones importantes en infraestructuras y viviendas que aumentan la IE de los países. Por otro lado el crecimiento económico de los países beneficia a las familias y conlleva un incremento de sus necesidades energéticas que puede llegar a ser considerablemente alto en algunos períodos. Se podría esperar que los países emergentes experimenten similares procesos y podrían anticipar algunos de los problemas que se originan cuando se experimenta un fuerte crecimiento económico en un plazo reducido.

En el capítulo 3 se presenta el análisis completo de la evolución de la IE en España. Este análisis incluye todos los usos energéticos del país a diferencia de otros análisis que se limitan al sector industrial, por lo que sólo explican el 20% del consumo energético del país. La elaboración de una base de datos de IE sectoriales homogéneas de la UE15 permite realizar una comparación completa de la evolución de las IE en esta región y en este capítulo se presenta una forma diferente de cuantificar esas diferencias y los sectores clave, así como de identificar cuáles han sido los países clave en la evolución de la IE en la UE15.

Esta es la primera vez que se realiza este ejercicio para el caso español, que abarca todos los sectores productivos de la economía y los consumos de las familias (a nivel internacional se realizó para agregados mundiales en Schäfer, 2005). Esto ha permitido a su vez cuestionar algunas de las tesis sobre la IE y mostrar, a través de los datos disponibles, por qué en muchos casos el análisis parcial del indicador puede llevar a una interpretación errónea.

Al incluir el sector energético y el transporte en el análisis se pone de manifiesto su influencia en la evolución de la IE y la necesidad de investigar e identificar qué sectores los impulsan. Por ello el capítulo 4 presenta una metodología para la asignación de estos consumos indirectos a cada sector de manera que se descubren cuáles son realmente los sectores clave en la evolución de la IE. Esta es quizás la aportación más importante de la tesis.

Este es uno de los análisis más completos que se han hecho sobre la incidencia del transporte en la IE. No obstante, es necesario avanzar más en esta área de investigación fundamental e insuficientemente atendida.

La metodología presentada ha permitido obtener conclusiones interesantes ocultas detrás de las altas cifras de IE de los sectores energía y transporte, lo cual es una contribución novedosa al análisis del balance energético español y de las IE.

En el capítulo 5 se realiza una desagregación de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> para España y para la UE15 en los indicadores de Kaya, similar a la realizada por numerosos investigadores, aunque en este caso se utiliza la información más reciente (1990-2007). Una aportación del capítulo es la desagregación del crecimiento de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en diversos efectos (estructura, IE, índice de carbono del abastecimiento y actividad). Este análisis permite realizar varias simulaciones a 2020 de diversas medidas y su impacto en la consecución de los objetivos planteados en el seno de la UE. Otra aportación es el cálculo de las emisiones directas e indirectas de los sectores gracias a la metodología aportada en el capítulo 4.

En el capítulo 6 se analiza la seguridad de suministro en España desde un enfoque de la demanda, que es diferente al habitual, ya que se suele centrar en la problemática de la

oferta. La aportación principal es el análisis de los factores que han influido en la dependencia energética y la vulnerabilidad y el riesgo energético de los sectores económicos utilizando diversas metodologías. Esto ha permitido evaluar cuáles son los sectores que podrían sufrir más ante una situación de escasez energética o encarecimiento de determinados combustibles. Este tipo de análisis tan desagregado no se había hecho antes para el caso español.

Los capítulos 7 y 8 son principalmente descriptivos y recogen la problemática de la mejora de la eficiencia energética en los hogares y en el transporte. Lo más destacable del capítulo 7 es que el análisis está centrado en el caso español, frente a otros estudios más generales. En el capítulo 8 se ha hecho un importante esfuerzo investigador en comprender cuáles son las fuerzas que impulsan la demanda energética del transporte de mercancías y viajeros en España. Esta investigación está basada en la recopilación de información estadística de diversos Ministerios, que a menudo no se tiene en cuenta en los análisis de este sector, puesto que los estudios realizados en el área del transporte en España se han centrado conceptualmente en la movilidad, sin abordar la problemática energética, tal y como se realiza en este estudio. Además, se analizan los efectos de algunas medidas concretas para el caso español.

Las líneas de investigación que podrían ampliar y profundizar en algunas de las conclusiones de esta tesis se clasifican en cuatro grupos:

- Análisis de la demanda. La eficiencia energética ha cobrado un protagonismo tan importante que necesita de nuevos enfoques al análisis del consumo energético desde el punto de vista de la demanda. Estos estudios se deberían concentrar en los sectores más intensivos en energía y analizar cuáles son los factores que impulsan su demanda energética y cuáles son las políticas públicas que podrían incentivar una mayor eficiencia energética, una diversificación de las fuentes y una descarbonización de sus consumos. En concreto, el análisis más detallado de actividades como la producción de cemento o productos metalúrgicos puede ser útil, no sólo por la problemática de los países mediterráneos, si no porque probablemente las economías emergentes atraviesen períodos de repuntes de sus IE (o emisiones) por ese motivo.
- Análisis de las conexiones entre la intensidad energética y los precios energéticos. Algunos datos parecen indicar que ciertas exenciones fiscales, subvenciones, tarifas especiales podrían haber influido en la especialización del sector productivo español en actividades de alto contenido energético y bajo valor añadido. Sería por tanto muy oportuno complementar el análisis aquí expuesto con un análisis de los precios energéticos.

- Análisis del sector del transporte. El reto de mejorar la IE de este sector es tan grande que requiere de estudios en áreas de economía de la energía, tecnologías, biocombustibles, sociología, etc. Asimismo, es necesario llevar a cabo análisis multidisciplinares. En concreto se podría analizar qué medidas más restrictivas en el transporte son más efectivas para cambiar el comportamiento de los conductores de vehículos privados. Otra investigación podría analizar qué incentivos económicos son más adecuados para conseguir las economías de escala necesarias para que los nuevos vehículos eléctricos consigan una penetración suficiente en el parque automovilístico como para marcar una diferencia en reducción de emisiones (más allá de experiencias piloto).
- Análisis de las conexiones indirectas entre sectores. Ciertos sectores impulsan el consumo energético de otros sectores aunque estos efectos no son siempre visibles. El análisis de estos efectos de arrastre será más interesante si se analiza un sector en concreto. Por ejemplo, el turismo arrastra los consumos energéticos de otros sectores como la construcción de viviendas, el consumo de transporte y el consumo de electricidad en sus establecimientos. Cuando se analizan esas conexiones se pueden identificar las políticas públicas que tendrán efectos más efectivos. Otra cuestión importante es analizar el contenido energético (o huella ambiental) de las importaciones de bienes y servicios con el objetivo de descubrir si detrás de las mejoras de la IE de algunos países se encuentra la deslocalización de ciertas actividades productivas.



## ***Referencias***

---

## A. BIBLIOGRAFÍA

- **ALCANTARA, V. y PADILLA, E.** (2009) “Determinantes del crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2007)”, *Documento de trabajo 09/10, departamento de economía aplicada*, Universidad Autónoma de Barcelona.
- **ALCANTARA, V.** (2008) “Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria española: una primera aproximación a la situación actual”, *Economía Industrial* nº 371: 49-57.
- **ALCANTARA, V. y DURO, J.A.** (2004), “Inequality of energy intensities across OECD countries: a note”, *Energy Policy* nº 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”, *Documentos de trabajo*, Universidad Autónoma de Barcelona, <http://ideas.repec.org/p/uab/wprdea/wp0205cast.html>, (11/4/2006).
- **ALCÁNTARA, V. y ROCA, J.** (1995) “Energy and CO<sub>2</sub> emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-1990”, *Energy Economics* nº 17 (3), pp. 221-230.
- **ANG, B. W.** (2005) “The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide”, *Energy Policy* nº 33: 867-871.
- **ANG, B.W. y LIU, N.**, (2005) “Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach”, *Energy Policy*, *in press*, Available online 27 December 2005.
- **ANG, B. W.** (2004) “Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method”, *Energy Policy* nº 32: 1131-1139.
- **ANG, B. W., LIU, F.L. y CHEW, E.P.** (2003) “Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis”, *Energy Policy* nº 31: 1561-1566.
- **ANG, B.W. y LIU, F.L.** (2001) “A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation”, *Energy* nº 26 (6): 537–548.
- **ANG, B. W. y ZHANG, F. Q** (2000) “A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies”, *Energy* nº 25: 1149-1176.

- **ANG BW y CHOI KH.** (1997) "Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method", *Energy Journal* nº 18(3):59-73.
- **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 FEIJOO, M.** (2003) "Análisis de la Eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro", *Economía Industrial* nº 352: 11-24.
- **AVEDILLO, M. y MUÑOZ M.A.** (2007) "Seguridad energética en Europa. de la percepción a la cuantificación", *Boletín económico de ICE, Información Comercial Española*, nº 2928, págs. 43-48.
- **BERNARDINI, O. y GALLI, R.** (1993) "Dematerialization: long-term trends in the intensity of use of materials and energy", *Futures*, May 1993: 431-448.
- **BOYD, G.A y HANSON, D.A. y STERNER, T.** (1988) "Decomposition of changes in energy intensity: a comparison of the Divisia index and other methods", *Energy Economics* nº 10 (4): 309-312.
- **CABRALES, A., DOLADO, J.J., y GARCÍA-MONTALVO, J.** (2008) "The Spanish trade-off: Tricks vs. brains", *VOX*, 8 de diciembre de 2008.
- **CARPINTERO, O.** (2003) "Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: entre la desmaterialización y el «efecto rebote»", *Economía Industrial*, nº 351: 59-76.
- **CJN CONSULTORES** (2002) *Consumo de Energía y Crecimiento Económico*, Comisión Nacional de la Energía y Club Español de la Energía, Madrid.
- **CLEVELAND, C. y RUTH, M.** (1999) "Indicators of dematerialization and the materials intensity of use", *Journal of Industrial Ecology*, nº 2(3): 15-50.
- **CLIMENT, F. y PARDO, A.** (2007) "Decoupling factors on the energy–output linkage: The Spanish case", *Energy Policy* nº 35 (1): 522-528
- **COMISIÓN BRUNDTLAND** (1987) *Our Common Future*, Nueva York, Oxford University Press (Traducción: *Nuestro futuro común*, Madrid, Alianza, 1988).
- **CUERDO, M.** (2001) "El papel de la demanda intermedia de energía en la industria española (1964-1990)", *Economía Industrial* nº 331: 121-138.

- **DE LA DEHESA, G.** (2009) *La primera gran crisis financiera del siglo XXI: orígenes, detonantes, efectos, respuestas y remedios*, Alianza Editorial, Madrid
- **DEL RÍO, P y HERNÁNDEZ, F** (2008) "Análisis de los procedimientos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector del transporte de pasajeros por carretera en Economía del Cambio Climático", *Ekonomiaz* nº 67: 234-261.
- **DOWLATABADI, H. y ORAVETZ, M.A.** (2005) "US long-term energy intensity: Backcast and projection", *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof.
- **EDGEWORTH, F.Y.** (1925) *Papers Relating to Political Economy*, Volume 1, New York: Burt Franklin.
- **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* nº 21 (2): 259-282.
- **FARRELL, M.J.** (1957) "The Measurement of Productive Efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society* 120(3):253-290.
- **FISCHER** (1922) *The Making of Index Numbers: A Study of Their Varieties, Tests and Reliability*, Houghton Mifflin, Boston.
- **FRONDEL, M., PETERS, J. y VANCE, C** (2007) "Identifying the rebound: evidence from a German household panel", *Ruhr Economic Papers* nº 32.
- **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.
- **GATELLE, D. y HUNTINGTON, H.G** (2002) "The asymmetric effects of changes in price and income on energy and oil demand", *Energy Journal* nº 23: 19-55.
- **GONZALEZ-MARRERO, R.M., LORENZO-ALEGRÍA, R.M., y MARRERO, G.A.** (2008), Fuel consumption, economic determinants and policy implications for road transport in Spain, *Documento de trabajo 2008-23, FEDEA*, [www.fedea.es](http://www.fedea.es).
- **GROSSMAN, G.M., KRUEGER, A.B.** (1995) "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, nº 110 (2): 353-77.
- **JÄNICKE, M., MÖNCH, H., RANNEBERG, T. y SIMONIS U. E.** (1989) "Economic Structure and Environmental Impacts: East-West Comparisons", *The Environmentalist*, nº 9: 171-182.

- **JOHANSSON, O. y SCHIPPER, L.** (1997) “Measuring long-run automobile fuel demand: separate estimations of vehicle stocks, mean fuel intensity and mean annual driving distance”, *Journal of Transport Economics and Policy*, nº 31 (3), 277-292.
- **JUDSON, R.Q., SCHMALENSEE, R. y STOKER, T.M.** (1999) “Economic Development and the structure of the demand for commercial energy”, *Energy Journal* nº 20 (2): 29-57.
- **KAYA, Y** (1989) “Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios”, paper presented to the Energy and Industry Subgroup, *Response Strategies Working Group*, Intergovernmental Panel on Climate Change, París, Francia.
- **KAMAKATÉ F, SCHIPPER L** (2008) “Trends in truck freight energy use and carbon emissions in selected OECD countries from 1973 to 2003”, *87th Annual meeting of the transportation research board*, Washington D.C.
- **KAHN RIBEIRO, S., KOBAYASHI, S., BEUTHE, M. , GASCA, J., GREENE, D., LEE, S., MUROMACHI, Y., NEWTON, P. J., PLOTKIN, S., SPERLING, D., WIT, R. y ZHOU, P. J.** (2007) “Transport and its infrastructure”. en *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. y Meyer L.A. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, EEUU.
- **KOBAYASHI, S., PLOTKIN, S y KAHN RIBEIRO, S** (2009) “Energy efficiency Technologies for road vehicles”, *Energy Efficiency* nº 2: 125-137.
- **KUZNETS, S.** (1955), “Economic growth and income inequality”, *American Economic Review* nº 45: 1–28.
- **LABANDEIRA, X. y LÓPEZ, A.** (2002) “La imposición de los carburantes de automoción en España: algunas observaciones teóricas y empíricas”, *Hacienda Pública Española* nº 160 (1): 177-210.
- **LEVINE, M., ÜRGE-VORSATZ, D., BLOK, K., GENG L., HARVEY, D., LANG, S. LEVERMORE, G., MONGAMELI MEHLWANA, A., MIRASGEDIS, S., NOVIKOVA, A., RILLING, J. y YOSHINO, H.** (2007) “Residential and commercial buildings” en *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. y Meyer L.A. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, EEUU.

- **LINARES, P.** (2009) “Eficiencia energética y medioambiente”, *Información Comercial Española*, 847: 75-93.
- **LIU, F.L y ANG, B.W.** (2003) “Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry”, *Applied Energy* nº 76: 15-23.
- **LABANDEIRA, X, LEÓN, C.J y VÁZQUEZ, M.X.** (2006) *Economía Ambiental*, Pearson Educación, Madrid
- **LABANDEIRA, X. LABEAGA, J. M. y RODRIGUEZ, M.** (2005) “A residential energy demand system for Spain”, Universidad de Vigo, <http://ideas.repec.org/p/wpa/wuwpem/0503005.html> , (11/4/2006).
- **LASPEYRES, E.** (1871) “Die Berechnung einer mittleren Waarenpreissteigerung”, *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 16: 296-314.
- **MALENBAUM, W.** (1978) *World demand for raw materials in 1985 and 2000*, McGraw-Hill, Nueva York, EEUU.
- **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](http://www.fedea.es).
- **MARSHALL, A.** (1923) *Money Credit and Commerce*, MacMillan, London UK.
- **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*, nº 22 (2): 77-105.
- **MENDILUCE, M.** (2008) La fiscalidad en el transporte rodado como instrumento para desvincular el transporte del crecimiento económico, in *Tratado de Tributación Medioambiental*, Becker, F., Cazorla, L.M. y Martínez-Simancas, J., Editorial Aranzadi, Navarra.
- **NAHMAN, A. y G. ANTROBUS.** (2005) “The Environmental Kuznets Curve: A Literature Survey.” *South African Journal of Economics* nº 73.
- **NEWELL, R.G, JAFFE, A. B. y STAVINS R.N** (1999) “The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change”, *Quarterly Journal of Economics* nº 114 (3): 941-975.

- **OTA** (Office of Technology Assessment). (1995) "Advanced Automotive Technology: Visions of a Super-Efficient Family Car", *OTA-ETI-638*. Washington DC: US Government Printing Office.
- **PAASCHE, H.** (1874) "Über die Preisentwicklung der letzten Jahre nach den Hamburger Borsennotirungen", *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 12,: 168-178.
- **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.
- **PALMER, T y RIERA, A** (2005), "Fiscalidad sobre el transporte rodado: una revisión crítica de su efectividad internalizadora", *Hacienda Pública Española* nº 173 (2): 165-191.
- **PÉREZ ARRIAGA J.I., GARCIA CASALS, X., MENDILUCE, M, MIRAS, P. y SANCHEZ DE TEMBLEQUE, L.J.** (2007) "La gestión de la demanda de energía en los sectores de edificación y transporte", *Documento de Trabajo 114/2007*, Fundación Alternativas
- **PÉREZ ARRIAGA, J.I., PARDO, M. y SANCHEZ DE TREMBLEQUE, L.J.** (2005) "La gestión de la demanda de electricidad", *Documento de Trabajo 65/2005*, Fundación Alternativas.
- **PÉREZ ARRIAGA, J.I.**, (2005) *Libro Blanco sobre la reforma del marco regulatorio de la generación eléctrica en España*, Instituto de Investigación Tecnológica, Madrid.
- **PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J.**, (2009), "The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain", *European Transport Research Review* 1 (2): 75-85
- **RAI** (2009) *La contribución de las TIC a la sostenibilidad del transporte en España*, Real Academia de Ingeniería, Madrid.
- **RAMOS-MARTÍN, J.** (2003) "Intensidad Energética de la economía Española: una perspectiva integrada", *Economía Industrial*, nº 351: 59-72.
- **REITLER W., RUDOLPH M. y SCHAEFER H.** (1987) "Analysis of the Factors Influencing Energy Consumption in Industry: A Revised Method", *Energy Economics*, nº. 9 (3): 145-148.
- **RICHMOND, A.K. y KAUFMAN, R.K** (2006) "Energy prices and turning points: the relationship between income and energy use / carbon emissions", *Energy Journal*, nº 27:157-178.

- **ROCA, J. Y PADILLA, E.** (2003) "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kioto", *Economía Industrial*, nº 351: 73-86.
- **SÁENZ DE MIERA, G y MUÑOZ RODRÍGUEZ, M** (2009) "La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio", *Documento de Trabajo 37/2009*, Real Instituto Elcano.
- **SATO, K.** (1976) "The ideal log-change index numbers", *The review of economics and Statistics* 85 (3):323-328.
- **SCHÄFER, A.** (2005), "Structural change in energy use", *Energy Policy* nº 33: 429-437.
- **SCHÄFER, A** (2000) "Regularities in travel demand: an international perspective", *Journal of Transportation and Statistics*, 3(3).
- **SCHIPPER, L., MARIE-LILLIU, C. y FULTON, L.** (2002)"Diesels in Europe", *Journal of Transport Economics and Policy*, nº 36 (2), 305-340.
- **SCHURR, S.H** (1984) "Energy Use, technological change and productive efficiency: an historical interpretation", *Annual Review Energy* nº 9: 409-425.
- **SMIL, V** (2003) *Energy at the Crossroads*, MIT Press, Cambridge (Massachusetts).
- **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](http://www.ukerc.ac.uk)
- **STERN N.** (2006) *Stern Review: The Economics of Climate Change*. 2006, London: HM Treasury, <http://www.sternreview.org.uk>.
- **STERN, D.I., COMMON, M.S. y BARBIER, E.B.** (1996) "Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development", *World Development*, nº 24 (7): 1151-60.
- **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).
- **STOKEY, N.** (1998) "Are there limits to growth?" *International Economic Review* Nº 39: 1-31.

- **STUVEL** (1957) "A new index formula", *Econometrica*, nº 25 (1): 123-131.
- **SUN, J.W.** (1998) "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition method", *Energy Economics* nº20 (1): 85-100.
- **SUN, J.W.** (2002) "The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998", *Energy Policy* nº 30: 631-635.
- **SURI, V. y CHAPMAN, D.** (1998) "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics* nº 25: 195-205.
- **TOMAN, M.A.** (1993) The economics of energy security: theory, evidence, policy, capítulo 25 in *Handbook of Natural Resource and Energy Economics, vol III*, edited by A.V. Kneese and J.L. Sweeney, Elsevier.
- **TÖRNQVIST L, VARTIA P y VARTIA Y.** (1985) "How should relative changes be measured?", *The American Statistician* nº 39(1):43-6.
- **TORRAS, M. y BOYCE, J.K.** (1998) "Income, inequality and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics* nº: 25: 147-60.
- **VARTIA, Y.** (1976) "Ideal log-change index numbers", *Scandinavian Statistics* nº3: 121-126.

## **B. OTRAS FUENTES CONSULTADAS**

- **ADEME** (2005) *Energy-Efficiency: Monitoring in the EU-15*, ADEME Editions, Paris.
- **AEMA** (2007) "Transport and environment: on a way to a new common transport policy", *European Environmental Agency*, Copenague.
- **ANFAC** (2009) "Datos del sector", *Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones*, Madrid, [www.anfac.es](http://www.anfac.es).
- **ANFAC** (2007) "Información estadística sobre matriculación de vehículos en 2003", *Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones*, información recibida en enero de 2007.
- **BBVA** (2006) "Situación Inmobiliaria, Febrero 2006", *Servicio de Estudios*, <http://serviciodeestudios.bbva.com/>, (11/4/2006).

- **CÁTEDRA BP** (2009) “Sustainable transportation policies”, *Foro de energía y sostenibilidad* organizado por la Cátedra BP de la Universidad Pontificia de Comillas, Madrid 1/6/2009.
- **CÁTEDRA BP** (2005) “Observatorio de Sostenibilidad”, *Cátedra BP*, Universidad Pontificia de Comillas, 2005, <http://www.upcomillas.es/catedras/bp/>, (11/4/2006).
- **COMISIÓN EUROPEA** (2007) *Excise duty tables. Part II Energy products and electricity*, Comisión Europea, Bruselas, julio 2007.
- **COMISIÓN EUROPEA** (2004). *Hagamos Lisboa: reformas para la Unión ampliada*, Informe de la Comisión al Consejo Europeo de Primavera. Bruselas: COM, 2004. (29 final / 2).
- **EEDS** (2007) “Estrategia Española de Desarrollo Sostenible”, *Oficina Económica de Presidencia de Gobierno*, Madrid.
- **EUROSTAT** (2009a) *Breakdowns (main aggregates and employment by industry, investment by product and consumption by purpose) - Constant prices database*, <http://epp.EUROSTAT.cec.eu.int> , 1/2/ 2009.
- **EUROSTAT** (2009b) “National accounts volumes "at constant prices" in the database will be phased out”, *Nota de prensa*, [http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/national\\_accounts/introduction](http://epp.EUROSTAT.ec.europa.eu/portal/page/portal/national_accounts/introduction) (15/11/2009).
- **EUROSTAT** (2008) *Breakdown of final consumption expenditure of households by consumption purpose - COICOP 3-digit - Constant prices database*, <http://epp.EUROSTAT.cec.eu.int> , (1/12/2008).
- **EUROSTAT** (2006) “Por una Europa en movimiento. Movilidad sostenible para nuestro continente. Revisión intermedia del Libro Blanco del transporte” *Comisión Europea, Bruselas, 22.6.2006, COM(2006) 314 final*.
- **EUROSTAT** (2005) *Gas and electricity market statistics: data 1990-2005, Panorama of the EU*, <http://epp.EUROSTAT.cec.eu.int> , (11/4/2006).
- **IDAE** (2009) *Actualización de estadísticas de transporte, recibido en enero de 2009*, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2006a) *Estadísticas de consumo energético*, recibido en enero de 2006, IDAE, Madrid.

- **IDAE** (2006b) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 8*, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2005) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 7*, Septiembre 2005, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2004) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 6*, Marzo 2004, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2003) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 5*, Febrero 2003, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2002) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 4*, Junio 2002, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2001a) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 2*, Abril 2001, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2001b) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 3*, Octubre 2001, IDAE, Madrid.
- **IDAE**, (2001c) “Ahorro de energía en el sector hotelero. Recomendaciones y soluciones de bajo riesgo”, IDAE, Madrid.
- **IDAE** (2000) *Boletín IDAE eficiencia energética y energías renovables nº 1*, Octubre 2000, IDAE, Madrid.
- **IEA** (2009a) *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2008 Edition*, IEA/OCDE, Paris 2009.
- **IEA** (2008a) *Energy Balances of OECD Countries, 2007 Edition*, IEA/OCDE, Paris 2008.
- **IEA** (2008b) *Energy Prices and Taxes, Third Quarter 2005*, IEA/OCDE, Paris 2009.
- **IEA** (2008c) “Review of international policies for vehicle fuel efficiency”, *OCDE/IEA*, Paris.
- **IEA** (2007) “Fuel efficient road vehicle non-engine components: potential savings and policy recommendations”, *OCDE/IEA*, Paris.
- **IEA** (2005) “Saving oil in a hurry”, *OCDE/IEA*, Paris.
- **IEA** (2001) “Things that go blip in the night – standby power and how to limit it” , *OCDE/IEA*, Paris.

- **INE** (2008) *Contabilidad Nacional de España. Base 1995*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid, [www.ine.es](http://www.ine.es), (11/4/2006).
- **INE** (2007) *Padrón municipal: Cifras oficiales de población* Instituto Nacional de Estadística, Madrid, [www.ine.es](http://www.ine.es),
- **INE** (2006) *Cuenta satélite del turismo de España. Serie contable 1995-2003* Instituto Nacional de Estadística, Madrid, [www.ine.es](http://www.ine.es), (11/4/2006).
- **INE** (2002) *Censos de Población y Vivienda, 2001*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid, [www.ine.es](http://www.ine.es), (11/4/2006).
- **INFRAS/IWW** (2000) “External Costs of Transport, Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe”, *UIC*, Paris.
- **MCKINSEY** (2009) “Pathways to a low-carbon economy”, *McKinsey*, [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
- **MINISTERIO DE ECONOMÍA** (2003) *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4)*, Ministerio de Economía, Madrid.
- **MFOM** (2009) *Encuesta de movilidad de las personas residentes en España (Movilia 2006/2007)*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- **MFOM** (2008) *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera. 2007*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- **MFOM** (2007) *Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera. 2006*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- **MFOM** (2006) *Las cifras del transporte de 2006*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- **MFOM** (2002) *Encuesta de movilidad de las personas residentes en España (Movilia 2000/2001)*, Ministerio de Fomento, Madrid.
- **MITYC** (2009a) *Plan Renove de Electrodomésticos*, Ministerio de industria, turismo y comercio, [www.mityc.es](http://www.mityc.es).
- **MITYC** (2009b) *Proyecto Piloto de Coche Eléctrico MOVELE*, Ministerio de industria, turismo y comercio, mayo de 2009, [www.mityc.es](http://www.mityc.es)
- **MITYC** (2008) *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011*, Ministerio de industria, turismo y comercio, julio de 2008, [www.mityc.es](http://www.mityc.es).

- **MITYC** (2007) *Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España*, Ministerio de industria, turismo y comercio, julio de 2007, [www.mityc.es](http://www.mityc.es).
- **MITYC** (2005) *Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España*, Ministerio de industria, turismo y comercio, julio de 2005, [www.mityc.es](http://www.mityc.es).
- **MVIV** (2008) *Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012*, Ministerio de Vivienda, diciembre de 2008, [www.vivienda.es/](http://www.vivienda.es/).
- **MVIV** (2006) *Código técnico de edificación*, Nota de Prensa del 17 marzo 2006, Ministerio de Vivienda, <http://www.vivienda.es/> , (11/4/2006).
- **MMA** (2008) *Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera 1990-2006*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- **MMA** (2007) *Plan Nacional de Asignación 2008-2012*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- **MMA** (2005a) *TRAMA 2005: informe sobre transporte y medio ambiente*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- **MMA** (2005b) “Disociar crecimiento económico y demanda de transporte. Caso de estudio de España”, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- **NACIONES UNIDAS** (2005), *Human Development Report*, <http://hdr.undp.org/>, (11/4/2006).
- **OCDE** (2008) “Country Risk Classification”, *OCDE*, Paris, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
- **OCDE** (2006) “Decoupling the environmental impacts of transport from economic growth”, *OCDE*, Paris.
- **OCDE** (2002) *Purchasing power parities and real expenditures – 1999 benchmark*, *OCDE*, Paris, 2002.
- **OFICEMEN** (2007) “Informe anual 2007”, *Agrupación de Fabricantes de Cemento de España*, Madrid, [www.oficemen.com](http://www.oficemen.com)
- **OSE** (2007) *Sostenibilidad en España 2006*, Observatorio de la Sostenibilidad en España, Alcalá de Henares, <http://www.sostenibilidad-es.org/>.

- **OSE** (2006) “Calidad del Aire en las ciudades. Clave se sostenibilidad urbana”, *Observatorio de la Sostenibilidad en España*, Alcalá de Henares, <http://www.sostenibilidad-es.org/>.
- **OSE** (2005) *Sostenibilidad en España 2005: Informe Primavera*, Observatorio de la Sostenibilidad en España, Alcalá de Henares, <http://www.sostenibilidad-es.org/>.
- **REPSOL** (2009) “Informe sobre la eficiencia energética en España”, *Fundación Repsol*, Madrid.
- **SEDIGAS** (2007) *Eficiencia energética en la Península Ibérica*, Club Español de la Energía, Madrid 10/12/2007.
- **UNESID** (2007) “El sector del acero”, *Unión de Empresas Siderúrgicas*, Madrid.
- **WBCSD** (2009a) “Towards a Low Carbon Economy - A business contribution to the international energy & climate debate”, *World Business Council for Sustainable Development*, Ginebra.
- **WBCSD** (2009b) “Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings”, *World Business Council for Sustainable Development*, Ginebra.
- **WBCSD** (2007) “Policy Directions to 2050: A business contribution to the dialogues on cooperative action”, *World Business Council for Sustainable Development*, Ginebra.

## C. NORMATIVA

### EUROPEA

- **DIRECTIVA 2006/38/CE** de 17 de mayo de 2006, *relativa a la aplicación de gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por la utilización de determinadas infraestructuras*, Diario Oficial L 157 de 9/6/2006.
- **DIRECTIVA 2006/32/CE** de 5 de abril de 2006, *sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos*, Diario Oficial L 114 de 27/4/2006.
- **DIRECTIVA 2003/96/CE** de 27 de octubre de 2003, *relativa a la armonización de las estructuras del impuesto especial sobre los hidrocarburos*, Diario Oficial L 316 de 31/10/2003.

- **DIRECTIVA 2003/87/CE** de 13 de octubre de 2003, *por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad*, Diario Oficial L 275 de 25/10/2003.
- **DIRECTIVA 92/82/CEE** de 19 de octubre de 1992, *relativa a la aproximación de los tipos del impuesto especial sobre los hidrocarburos* Diario Oficial L 316 de 31/10/1992.
- **DIRECTIVA 1999/62/CE** de 17 de junio de 1999, *relativa a la aplicación de gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por la utilización de determinadas infraestructuras*, Diario Oficial L 187 de 20/7/1999.
- **DIRECTIVA 1984/360/CEE** de 28 de junio de 1984, *relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales*, Diario Oficial L 188 de 16/7/1984.

#### **ESPAÑOLA**

- **LEY 12/2007** de 2 de Julio, *del sector de hidrocarburos*, BOE 158 de 3/7/2007: 28567-28594.
- **LEY 82/80**, de 30 de diciembre, *sobre conservación de energía*, BOE 23 de 27/1/81: 1863-1866.
- **LEY 34/207**, de 15 de noviembre, *de calidad del aire y protección de la atmósfera*, BOE 275 de 16/11/07: 46962-46987.
- **REAL DECRETO 314/2006**, de 17 de marzo, *por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*, BOE 74 del 28/3/06: 11816-11831.
- **REAL DECRETO 1027/2007**, de 20 de julio, *por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*, BOE 207 del 29/08/07: 35931–35984.