



Máster Oficial en  
Economía y Desarrollo

***Máster Universitario en Economía y Desarrollo***  
**Facultad de C. Económicas y Empresariales**

**FACTORES CLAVE DEL CAMBIO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA DE  
ESPAÑA Y SU DESACOPLAMIENTO CON EL CRECIMIENTO  
ECONÓMICO. UN ANÁLISIS A NIVEL SECTORIAL.**

Trabajo de Fin de Máster presentado para optar al Título de Máster Universitario en Economía y Desarrollo por D. José Luis Merchán Huanga, siendo los tutores del mismo la Dra. D<sup>a</sup>. Rocío Francisca Román Collado y el Dr. D. José Manuel Cansino Muñoz-Repiso.

Vº. Bº. de la Tutora:

Vº. Bº. del Tutor:

Alumno:

Dra. D<sup>a</sup>. Rocío Francisca  
Román Collado

Dr. D. José Manuel  
Cansino Muñoz-Repiso

D. José Luis Merchán  
Huanga

Sevilla, junio 8 de 2018.



Máster Oficial en  
Economía y Desarrollo

**Máster Universitario en Economía y Desarrollo**  
**Facultad de C. Económicas y Empresariales**

## **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO [2017-2018]**

### **TÍTULO:**

**FACTORES CLAVE DEL CAMBIO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA DE ESPAÑA Y SU DESACOPLAMIENTO CON EL CRECIMIENTO ECONÓMICO. UN ANÁLISIS A NIVEL SECTORIAL.**

### **AUTOR:**

D. José Luis Merchán Huanga

### **TUTORES ACADÉMICOS:**

Dra. D<sup>a</sup>. Rocío Román Collado

Dr. D. José Manuel Cansino Muñoz-Repiso

### **RESUMEN:**

España está entre los países que han desarrollado importantes acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética. El éxito de estas acciones debería favorecer el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Esta investigación analiza los factores determinantes que explican los cambios en el consumo sectorial así como el grado de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico logrado en España. El periodo analizado se extiende entre 2000-2015. El inicio de la serie coincide con la entrada en vigor de las primeras actuaciones orientadas al ahorro energético y el final viene establecido por la disponibilidad de datos. Para responder a la primera pregunta de investigación se utiliza la técnica de descomposición LMDI-I en su variante aditiva. Una descomposición de segundo nivel permite responder a la segunda cuestión. Este análisis se complementa con el índice de Tapio. Los resultados muestran que el efecto intensidad jugó un papel notable para compensar el consumo de energía sectorial, y de manera conjunta con el efecto estructura son lo que más contribuyeron al proceso de desacoplamiento. El sector de Industrial y de

Transporte son los que mostraron mayores esfuerzos para el desacoplamiento. Sin embargo los esfuerzos aún no son suficientes.

**PALABRAS CLAVE:**

Consumo de energía, descomposición LMDI, elasticidad de Tapio, índice de desacoplamiento, España.

**ABSTRACT:**

Spain is among the countries that have developed important actions aimed at improving energy efficiency. The success of these actions should favor the decoupling between energy consumption and economic growth. This research analyzes the determining factors that explain the changes in sectoral consumption as well as the degree of decoupling between energy consumption and economic growth achieved in Spain. The period analyzed extends between 2000-2015. The beginning of the series coincides with the entry into force of the first actions aimed at energy saving and the end is established by the availability of data. To answer the first research question, the LMDI-I decomposition technique is used in its additive variant. A second level decomposition allows answering the second question. This analysis is complemented by the Tapio index. The results show that the intensity effect played a notable role in compensating for sectoral energy consumption, and together with the structural effect, they contributed the most to the decoupling process. The sector of Industrial and Transport are those that showed greater efforts for decoupling. However, the efforts are still not enough.

**KEYWORDS:**

Energy consumption, LMDI decomposition, Tapio elasticity, decoupling index, Spain.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN:</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	10
2.1 Índice de Tapio .....	10
2.2 Análisis de descomposición .....	11
2.3 Descomposición multinivel para análisis de desacoplamiento .....	14
<b>3. BASE DE DATOS</b> .....	15
<b>4. RESULTADOS</b> .....	16
4.1 Resultados del Índice de Tapio .....	16
4.2 Resultados de descomposición LMDI .....	18
4.3 Análisis de desacoplamiento segundo nivel .....	27
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	30
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	34
<b>ANEXOS</b> .....	43

# **FACTORES CLAVE DEL CAMBIO EN EL CONSUMO DE ENERGÍA DE ESPAÑA Y SU DESACOPAMIENTO CON EL CRECIMIENTO ECONÓMICO. UN ANÁLISIS A NIVEL SECTORIAL.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las políticas energéticas nacionales han centrado su atención en la eficiencia energética, en busca de un desarrollo sostenible y mitigar el cambio climático (Pérez-Lombard et al., 2013). Los beneficios se pueden traducir en la reducción emisiones de gases efecto invernadero y contaminación local, mayor seguridad energética, reducción de inversión en infraestructura energética, una mayor competitividad de la economía y generación de empleo (Schnapp, 2012).

En la comunidad de la Unión Europea, la Directiva 2012/27/UE (2012) y sus estados miembros han ratificado el objetivo ambicioso de alcanzar un ahorro del 20% en el consumo de energía hasta el 2020. Se establece la necesidad de implementar medidas en común para el fomento de la eficiencia energética, con una proyección más allá del 2020; y con un planteamiento integrador, que abarque tanto el sector de suministro de energía y los sectores de uso final.

El encaminarse en una economía más eficiente en el consumo de energía, a más de permitir mejorar la seguridad en el abastecimiento, la disminución de gases de efecto invernadero; se debe estimular la incorporación de tecnologías innovadoras y mejorar la competitividad de la industria. Adicionalmente, la eficiencia energética, como estrategia para un “crecimiento inteligente, sostenible e integrador”, debe permitir desacoplar el consumo de energía del crecimiento económico (Directiva 2012/27/UE, 2012).

Para la consecución del objetivo de reducción del consumo de energía, España adoptó el Plan de Acción 2008-2012, PAE4 2008-2012 (MITC, 2007), que se considera el primer Plan de Acción para la Eficiencia Energética, debido a que fue implementado a partir de lo dispuesto por la Directiva 2006/32/CE (2006), que luego fue derogada por la Directiva 2012/27/UE (2012). De hecho, el PAE4 2008-2012 se fundamenta en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (ME, 2003) y constituye un seguimiento al Plan de Acción 2005-2007 (MITC, 2005a). Román y Sanz (2017) ofrecen un análisis a detalle de los logros en términos de ahorro de energía del PAE4 2008-2012. Los resultados muestran que los sectores de servicio público, agricultura y construcción son los de mejor desempeño de acuerdo al indicador de

efectividad; mientras que desde una perspectiva de eficiencia energética los sectores más relevantes son los de transporte, industria y agricultura.

Posteriormente, en el año 2011, se aprueba el segundo Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética 2011- 2020, PAEE 2011-2020 (MITC, 2011), de acuerdo al requerimiento establecido por la Directiva 2006/32/CE (2006). El plan busca lograr un ahorro de energía primaria del 20% para el año 2020, el 15,8% corresponde al consumo de energía final. En el PAEE 2011-2020 se presenta un balance, donde España a 2010 alcanzó un ahorro de energía del 9,2%, cumpliendo anticipadamente con el objetivo establecido por la Directiva para 2016, que fue del 9%. A propósito de este resultado, Mendiluce (2012), ofrece un análisis de descomposición de la intensidad energética (IE) en España y del consumo de energía para el periodo 2000-2010, y concluye que ha existido un cambio de tendencia de la IE a partir del 2005, debido principalmente a la menor actividad del sector de la construcción; además, la demanda de energía disminuyó en 2009, producto de la crisis económica. De su parte, Colinet y Román (2016), analizan el cambio del consumo de energía final en Andalucía (España) durante el 2003 y 2012. Para el subperíodo 2008-2012, el sector de transporte, primario y de servicios, mejoraron la eficiencia energética, coincidiendo con la implementación del Plan Energético Andaluz.

Para cumplir con lo dispuesto por la Directiva 2012/27/UE (2012), España desarrolla y aprueba el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020 (MIET, 2014), ratificando su compromiso con los objetivos de eficiencia energética. El propósito del plan es conseguir un ahorro energético acumulado del 10,5% para el periodo 2014-2020, lo que supondría un esfuerzo adicional al buscar reducir el consumo de energía un 26,4% hasta 2020, que estaría por encima de lo previsto.

La comunidad de la Unión Europea encaminada hacia la eficiencia energética y el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico, hace indispensable la implementación de políticas energéticas apropiadas. La relación dinámica que existe entre consumo de energía y el crecimiento económico, ha permitido que nuevos enfoques de análisis como el desacoplamiento vayan ganado relevancia, en lugar del análisis de causalidad tradicional; esto como mecanismo para establecer estrategias energéticas y/o económicas; y como objeto de estudio se ha extendido en el tiempo (Ozturk, 2010; dos Santos Gaspar et al., 2017; Tiba y Omri, 2017). Las investigaciones se han enfocado en analizar si una economía es cada vez menos

dependiente del consumo de energía, por lo que, para determinar el vínculo entre el consumo de energía y el crecimiento económico, el método de desacoplamiento es una técnica apropiada (Dong et al., 2016).

El análisis de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico español, se ha centrado básicamente en el análisis de descomposición, a través de dos métodos principalmente: Análisis de Descomposición Estructural (SDA por sus siglas en inglés) y el Análisis de Descomposición del Índice (IDA por sus siglas en inglés). Guerra y Sancho (2010) y Alcántara et al. (2010), han realizado investigaciones relacionadas al consumo de energía utilizando la metodología SDA. La metodología IDA y en particular su técnica Índice de Media Logarítmica Divisia (LMDI por sus siglas en inglés), ha sido utilizada para analizar los cambios en la intensidad energética (Fernández y Pérez, 2003; Mendiluce, 2007; Mendiluce et al., 2010; Mendiluce, 2012; Arocena et al., 2016), y los factores impulsores en el cambio del consumo de energía (González y Moreno, 2015; Colinet y Román, 2016; Román et al., 2018). Por su parte, Román y Colinet (2018) combinan las metodologías IDA y SDA para analizar el consumo de energía de España.

Estudios que hayan analizado el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico de España, se puede mencionar a Climent y Pardo (2007), quienes mediante técnicas econométricas, investigaron la relación entre el consumo de energía y el PIB, teniendo en cuenta diferentes factores de desacoplamiento; así también, García-Gusano et al. (2018), mediante la modelización econométrica a largo plazo, evalúa el desacoplamiento entre la energía y el crecimiento a través de la proyección de la demanda y la demanda refinada de electricidad de España. Sin embargo, ninguno de estos trabajos estudia el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico a partir de factores impulsores de los cambios en el consumo de energía, derivados de técnicas de descomposición.

El índice de desacoplamiento propuesto por Tapio (Tapio, 2005), permite medir la desvinculación entre el consumo de energía y el crecimiento económico, donde el desacoplamiento puede ser expresado como valores de elasticidad. Tapio (2005), redefinió el índice de elasticidad de desacoplamiento al identificar ocho posibilidades lógicas, esto a partir de tres estados de desacoplamiento, como son: acoplamiento, desacoplamiento y desacoplamiento negativo. Por este importante aporte, el método ha sido utilizado por muchos investigadores, y es considerado como uno de los de mayor desarrollo en la teoría del desacoplamiento (Ren y Hu, 2012; Zhao et al., 2016)

Las fuerzas motrices que influyen en el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, se pueden explorar mediante técnicas de descomposición (Zhang et al., 2013). Actualmente se identifican dos metodologías con gran aplicación en la literatura, el Análisis de Descomposición Estructural (SDA) y el Análisis de Descomposición del Índice (IDA). Hoekstra y Van Den Bergh (2003), Su y Ang (2012) y Wang, H., et al., (2017), realizan comparaciones entre IDA y SDA con el propósito de determinar sus principales características; de ahí que, se prefiere el método IDA sobre el SDA, ya que es más flexible en su formulación, por su facilidad de uso, además es aplicable para información en cualquier nivel de agregación. Así también, tiene la ventaja de que su requerimiento de datos es menor con respecto al método SDA, que usa el modelo input-output, lo que lo hace menos flexible. Adicionalmente, el análisis mediante la metodología IDA permite una mayor comprensión del consumo de energía en un sector específico (Cansino et al. 2015).

La técnica de descomposición aditiva LMDI de la familia IDA, ha demostrado ser una herramienta útil para identificar las fuerzas motrices que influyen en el cambio del consumo de energía (Ang, 2004; Su y Ang, 2012). La técnica LMDI comprende dos métodos: LMDI-I y LMDI-II, de acuerdo con Ang et al. (2009), las dos satisfacen la mayoría de pruebas relacionadas a los números índices y que son relevantes para la familia IDA; excepto que, LMDI-I aditivo falla en la prueba de proporcionalidad, mientras que LMDI-II aditivo falla en la prueba de agregación.

Adicionalmente, la técnica LMDI-I a más de tener consistencia en la agregación (Ang y Lui, 2001), cumple con el principio de distribución proporcional por subcategoría, es decir, es perfecto en descomposición a nivel de subcategoría (Ang et al., 2009). Esta última característica es importante para el propósito del estudio, considerando que el análisis de descomposición se realizará para cada sector productivo de manera individual. Por lo tanto, siguiendo la recomendación de Ang (2004) y Ang et al. (2009), la técnica LMDI-I es preferida, por su base teórica, facilidad de aplicación y satisfacción de propiedades.

Para conocer el esfuerzo realizado por los sectores productivos para lograr el desacoplamiento, se aplica una segunda descomposición, que tiene como base los resultados de descomposición LMDI-I del consumo de energía y se combina con el índice de desacoplamiento propuesto por Diakoulaki y Mandaraka (2007); para quienes un esfuerzo conlleva la implementación de medidas para reducir la intensidad energética,



cambios hacia actividades menos intensivas en energía, así también, la penetración de energías limpias en el proceso de fabricación y/o generación de energía. Entre otros, esta metodología ha sido utilizada por Zhang y Guo (2013), Roinioti y Koroneos (2017), Cansino y Moreno (2017), Wang, Q., et al. (2017) y Román et al. (2018), para analizar el desacoplamiento entre el crecimiento económico y el estrés medioambiental (consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente)

El propósito de este documento es analizar los factores que han determinado los cambios en el consumo de energía de la economía española a nivel sectorial, a partir de ello, explorar el proceso de desacoplamiento entre consumo de energía y el crecimiento económico, como resultado de la aplicación de políticas energéticas derivadas de los planes PAE4 2008-2012 y PAEE 2011-2020. Para la consecución de estos objetivos, de manera similar a Román et al. (2018), se aplican tres metodologías, que al estar relacionadas proporcionan resultados más vinculantes y robustos. El estudio inicia con el análisis del índice de elasticidad de Tapio, luego la técnica LMDI-I se utiliza para identificar los factores impulsores del cambio en el consumo de energía, para finalizar con una descomposición de segundo nivel basado en los efectos del análisis LMDI-I, que permita conocer los esfuerzos realizados en el proceso de desacoplamiento.

Las tres metodologías empleadas en el estudio, se aplican de manera individual para seis sectores productivos, como son: Agricultura, silvicultura y pesca, Industria, Sector de la Transformación, Transporte, Servicios y Residencial; derivados justamente de los Planes de Acción para la Eficiencia Energética. Para el análisis de descomposición sectorial se consideraron cinco efectos: Población, Mix energético, Intensidad energética, Estructura y Actividad, para el periodo 2000-2015. Los datos se han obtenido del Instituto Nacional de Estadística (INE) de España (INE, 2018a y 2018b), y de los Balances Energéticos publicados por Eurostat (Eurostat, 2017).

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 describe las metodologías utilizadas en el estudio. La Sección 3 detalla las fuentes de datos. En la Sección 4 se analizan los resultados, mientras que las implicaciones se discuten en la Sección 5. La Sección 6 presenta las principales conclusiones.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Índice de Tapio

Siguiendo a Tapio (2005) el estatus de acoplamiento o desacoplamiento entre crecimiento económico y consumo de energía se define a nivel sectorial como el cociente entre la tasa de variación del consumo de energía del sector  $i$  ( $E_i$ ) y la tasa de variación de la producción sectorial ( $Q_i$ ), entre dos períodos de tiempo  $t$  y  $t-1$ . El Índice de Tapio queda definido por (1) cómo un índice de elasticidad ( $\varepsilon_i$ ).

$$\varepsilon_i = \frac{\frac{E_{i(t)} - E_{i(t-1)}}{E_{i(t-1)}}}{\frac{Q_{i(t)} - Q_{i(t-1)}}{Q_{i(t-1)}}} = \frac{\frac{\Delta E_i}{E_{i(t-1)}}}{\frac{\Delta Q_i}{Q_{i(t-1)}}} = \frac{\% \Delta E_i}{\% \Delta Q_i} \quad (1)$$

Donde el subíndice  $i$  representa el  $i$ -ésimo sector productivo,  $E_i$  mide el consumo de energía; mientras que la producción  $Q_i$  se representa Valor Añadido Bruto (VAB) del sector  $i$ .

Un análisis preliminar al de Tapio (2005) realizado por Bruyn (2000) que distinguió dos posibilidades de desacoplamiento en una economía en crecimiento, como es, desacoplamiento débil ( $\Delta \frac{E}{Q} < 0$ ) y desacoplamiento fuerte ( $\Delta E < 0$ ). Posteriormente

Tapio (2005) consideró inicialmente tres estados en el grado de desacoplamiento; acoplamiento, desacoplamiento y desacoplamiento negativo. Un refinamiento realizado por Vehmas et al. (2007) y Tapio (2005), distinguen entre ocho estatus de desacoplamiento según muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Estados del índice de elasticidad de Tapio

Estados		$\% \Delta E_i$	$\% \Delta Q_i$	$\varepsilon_i$
<b>Acoplamiento</b>	Acoplamiento Expansivo	>0	>0	$0,8 < \varepsilon_i < 1,2$
	Acoplamiento Recesivo	<0	<0	$0,8 < \varepsilon_i < 1,2$
<b>Desacoplamiento</b>	Desacoplamiento Débil	>0	>0	$0 < \varepsilon_i < 0,8$
	Desacoplamiento Fuerte	<0	>0	<0
	Desacoplamiento Recesivo	<0	<0	$\varepsilon_i > 1,2$
<b>Desacoplamiento negativo</b>	Desacoplamiento Negativo Débil	<0	<0	$0 < \varepsilon_i < 0,8$
	Desacoplamiento Negativo Fuerte	>0	<0	<0
	Desacoplamiento Negativo Expansivo	>0	>0	$\varepsilon_i > 1,2$

**Fuente:** Elaboración propia de Vehmas et al. (2007) y de Tapio (2005)

De acuerdo a Tapio (2005), para no sobreinterpretar cambios leves como significativos, los valores de elasticidad cercanos a uno siguen considerándose como un estado de

acoplamiento. En la Tabla 1 se define como un estado de acoplamiento valores de elasticidad entre 0,8 y 1,2. Lo que significa que a nivel sectorial, la tasa de variación del consumo de energía es similar a la tasa de variación de la producción. Para los demás valores de elasticidad se define como un estado de desacoplamiento o desacoplamiento negativo.

Para un valor de  $\varepsilon_i < 0$ , puede darse un desacoplamiento fuerte o desacoplamiento negativo fuerte. El escenario deseable es el primero, pues el consumo de energía sectorial disminuye ante un crecimiento de la economía, mientras que en el segundo caso se da lo contrario, es decir, el consumo de energía se incrementa ante un decrecimiento de la economía. Para valores de  $0 < \varepsilon_i < 0,8$ , puede ocurrir un desacoplamiento débil (el consumo de energía y producción crecen) o desacoplamiento negativo débil (el consumo de energía y producción decrecen). En los dos casos la tasa de variación de la producción sectorial es mayor en valor absoluto. Para valores de  $\varepsilon_i > 1,2$ , el estado posible es un desacoplamiento recesivo (el consumo de energía y producción decrecen) o desacoplamiento negativo expansivo (el consumo de energía y producción crecen). En los dos casos la tasa de variación de la producción sectorial es menor en valor absoluto.

Al ser un análisis de elasticidad, el índice de Tapio puede utilizarse aunque el acoplamiento o desacoplamiento se analice entre dos variables medidas en diferentes unidades. Adicionalmente, el índice de Tapio supera la alta sensibilidad en la elección de los años de referencia (Zhao et al., 2016). Diferentes formulaciones de (1) han sido utilizadas en la literatura para medir el desacoplamiento entre el estrés medioambiental y el crecimiento económico. Entre los trabajos que capturan el estrés medio ambiental a través de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes están De Freitas y Kaneko (2011), Zhang y Wang (2013), Wang et al. (2013), Ren et al. (2014), Lu et al. (2015), Zhao et al. (2016), Zhao et al. (2017), Cansino y Moreno (2017) y Wang, Q., et al. (2017); y desde una perspectiva del consumo de energía por Climent y Pardo (2007), Dong et al. (2016), Román et al. (2018) y Zhang et al. (2018).

## **2.2 Análisis de descomposición**

Dado que a partir de (1) la elasticidad de desacoplamiento depende de cambios en el consumo de energía sectorial ( $\Delta E_i$ ), es posible enriquecer el análisis identificando los factores determinantes de estos cambios, el peso que cada factor tiene y el sentido en el que actúa (a favor o en contra del desacoplamiento). Este análisis es posible realizarlo

partiendo del modelo IPAT (Impacto=Población  $\times$  Afluencia  $\times$  Tecnología) (Commoner et al., 1971; York et al., 2002; Brizga et al., 2013) y la identidad de Kaya (Kaya, 1990; Yamaji et al., 1991).

La metodología IDA se ha adoptado ampliamente en estudios de energía y emisiones (Ang, 2015), lo que ha conducido al desarrollo de varias técnicas de la familia IDA (Ang y Choi, 1997; Ang et al., 1998; Ang y Liu, 2001). Entre ellas, la descomposición de Laspeyres y el Índice de Media Logarítmica Divisia (LMDI), siendo la técnica LMDI la más extensamente utilizada en la literatura por su base teórica, flexibilidad, facilidad en su aplicabilidad e interpretación de resultados (Ang, 2004). La técnica de descomposición LMDI comprende dos métodos, LMDI-I y LMDI-II. En este análisis se ha elegido el enfoque LMDI-I debido a sus satisfactorias propiedades de descomposición, además de proporcionar una asociación simple y directa entre la forma aditiva y multiplicativa (Ang, 2004; Ang y Liu, 2007a). En este punto, si bien tanto la descomposición aditiva como la multiplicativa muestran resultados similares, la formación aditiva permite un manejo e interpretación de resultados más factible (Ang, 2015; Zhao et al., 2016).

El análisis LMDI-I parte de la definición de consumo de energía de cada sector productivo ( $E_i$ ), de acuerdo a la expresión (2).

$$E_i = \sum_{j=1}^m P \cdot \frac{Q}{P} \cdot \frac{Q_i}{Q} \cdot \frac{E_i}{Q_i} \cdot \frac{E_{ij}}{E_i} = \sum_{j=1}^m P \cdot A \cdot S_i \cdot I_i \cdot e_{ij} \quad (2)$$

Donde  $m$  es el número de fuentes de energía final,  $E_i$  el consumo de energía del sector  $i$ ,  $P$  la población,  $Q$  es la variable proxy que mide producción total de la economía a través del VAB,  $Q_i$  el VAB del sector  $i$ . Finalmente  $E_{ij}$  mide el consumo de energía del sector  $i$  procedente de la fuente energética  $j$ -ésima.

A partir de (2) el análisis de LMDI permite descomponer el cambio en el consumo de energía del sector  $i$ , entre el periodo  $t$  y  $t-1$  ( $\Delta E_i$ ) para cada fuente energética de las incluidas en la matriz de energía española (Ang y Liu, 2001 y Ang, 2004 y 2015). En su formulación aditiva la descomposición se realiza en cinco factores o efectos según muestra la siguiente expresión:

$$\Delta E_i = E_{i(t)} - E_{i(t-1)} = \Delta P^i + \Delta A^i + \Delta S^i + \Delta I^i + \Delta e^i \quad (3)$$

La definición de cada factor es como sigue:

- a)  $\Delta P^i$ : Efecto Población. Refleja la parte de la variación en el consumo de energía sectorial debida a cambios en la población. Actúa como proxy de la demanda de energía del país.
- b)  $\Delta A^i$ : Efecto Actividad. Muestra la variación en el consumo de energía sectorial explicada por el cambio en el ingreso per cápita.
- c)  $\Delta S^i$ : Efecto Estructura. Captura la variación en el consumo de energía sectorial por cambios en el peso relativo de los sectores en la producción final.
- d)  $\Delta I^i$ : Efecto Intensidad. Información sobre el impacto de cambios sobre la variación en el consumo de energía sectorial por unidad de producción sectorial.
- e)  $\Delta e^i$ : Efecto mix energético. Mide la contribución de la penetración de energías limpias en la variación del consumo de energía final.

Cada efecto puede ser calculado como sigue:

$$\Delta P^i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \ln \frac{P(t)}{P(t-1)} \quad (4)$$

$$\Delta A^i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \ln \frac{A(t)}{A(t-1)} \quad (5)$$

$$\Delta S^i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \ln \frac{S_{i(t)}}{S_{i(t-1)}} \quad (6)$$

$$\Delta I^i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \ln \frac{I_{i(t)}}{I_{i(t-1)}} \quad (7)$$

$$\Delta e^i = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \ln \frac{e_{ij(t)}}{e_{ij(t-1)}} \quad (8)$$

Donde, aplicando el Teorema del valor medio  $\omega_{ij}$  corresponde al factor de ponderación para el cálculo de diferentes efectos y se obtiene a partir de la media logarítmica, que considera la variación entre dos períodos del consumo de energía sectorial por fuente energética j según (9):

$$\omega_{ij} = \frac{E_{ij(t)} - E_{ij(t-1)}}{\ln E_{ij(t)} - \ln E_{ij(t-1)}} \quad (9)$$

El análisis LMDI permite manejar los valores nulos. Para estos Ang y Choi (1997), Ang et al. (1998) y Ang y Liu (2007b) propusieron la estrategia del valor pequeño que consiste en reemplazar los valores cero por un conjunto de datos  $\delta$ , donde  $\delta < 10^{-20}$ .

### 2.3 Descomposición multinivel para análisis de desacoplamiento

A partir de (3) es posible determinar sectorialmente la contribución de cada factor de descomposición en el estatus de desacoplamiento entre el crecimiento del consumo de energía final y el crecimiento económico. Para conocer el esfuerzo realizado por los sectores productivos en un hipotético proceso de desacoplamiento, es posible desarrollar una segunda descomposición, que tiene como base los resultados de descomposición aditiva LMDI del consumo de energía sectorial. Esta segunda descomposición permite calcular un nuevo índice de desacoplamiento más sofisticado que el Índice de Tapio, a partir de la aportación de Diakoulaki y Mandaraka (2007). En este caso un esfuerzo orientado al desacoplamiento es cualquier medida orientada a i) reducir la intensidad energética, ii) promover una transición de la estructura económica hacia sectores menos intensivos en el consumo de energía, así como iii) promover la penetración de energías limpias en el proceso de fabricación y/o generación de energía (Wang, Q., et al., 2017; Cansino y Moreno, 2017).

Siguiendo a Cansino y Moreno (2017) y a Román et al. (2018), para definir el segundo índice de desacoplamiento se asume que el crecimiento económico causa un mayor consumo de energía final. A partir de (3) el esfuerzo de desacoplamiento en términos absolutos o efecto inhibidor sectorial ( $\Delta EE_i$ ), se define como la diferencia entre el cambio en el consumo de energía sectorial y el efecto de la actividad económica:

$$\Delta EE_i = \Delta E_i - \Delta A = \Delta P + \Delta S + \Delta I + \Delta e \quad (10)$$

Asumiendo que el efecto actividad causa un aumento en el consumo de energía el nuevo índice de desacoplamiento  $\gamma_{TOTAL}^i$ , calcula la contribución del resto de los efectos en el proceso de desacoplamiento entre los períodos  $t$  y  $t-1$ .

$$\gamma_{TOTAL}^i = -\frac{\Delta EE_i}{\Delta A^i} = -\frac{\Delta P^i}{\Delta A^i} - \frac{\Delta S^i}{\Delta A^i} - \frac{\Delta I^i}{\Delta A^i} - \frac{\Delta e^i}{\Delta A^i} = \gamma_{POB}^i + \gamma_{EST}^i + \gamma_{INT}^i + \gamma_{MIX}^i \quad (11)$$

También es posible asumir que el crecimiento negativo o decrecimiento de la economía causa una reducción en el consumo de energía en cada sector. En este caso Diakoulaki y Mandaraka (2007) consideran un efecto actividad negativo, por lo que el índice de desacoplamiento  $\gamma_i$ , se definiría como el esfuerzo para reducir el consumo de energía más allá del atribuible al efecto actividad negativo. En este caso el índice de desacoplamiento  $\gamma_i$ , se define como:

$$\gamma_{TOTAL}^i = \frac{\Delta EE_i - \Delta A^i}{\Delta A^i} = \frac{(\Delta P^i + \Delta S^i + \Delta I^i + \Delta e^i) - \Delta A^i}{\Delta A^i} \quad (12)$$

$$\gamma_{TOTAL}^i = \frac{\Delta P^i}{\Delta A^i} + \frac{\Delta S^i}{\Delta A^i} + \frac{\Delta I^i}{\Delta A^i} + \frac{\Delta e^i}{\Delta A^i} - \frac{\Delta A^i}{\Delta A^i} = \gamma_{POB}^i + \gamma_{EST}^i + \gamma_{INT}^i + \gamma_{MIX}^i - 1 \quad (13)$$

En las ecuaciones (11) y (13),  $\gamma_{TOTAL}^i$  corresponde al índice de desacoplamiento total de cada sector, mientras que  $\gamma_{POB}^i$ ,  $\gamma_{EST}^i$ ,  $\gamma_{INT}^i$  y  $\gamma_{MIX}^i$ , corresponden a los índices parciales de desacoplamiento asociados a los efectos población, estructura, intensidad energética y mix energético respectivamente.

El índice de desacoplamiento  $\gamma_{TOTAL}^i$  puede tomar los siguientes valores, si  $\gamma_{TOTAL}^i \geq 1$ , expresa fuertes esfuerzos de desacoplamiento, lo que indica que el efecto inhibitor del consumo de energía sectorial es más significativo que el efecto del crecimiento económico; esto implica que el consumo de energía sectorial disminuyen mientras la economía se expande. Si  $0 < \gamma_{TOTAL}^i < 1$ , expresa débiles esfuerzos de desacoplamiento, por lo que el efecto inhibitor de consumo de energía sectorial es más débil que el efecto del crecimiento económico; por lo que el consumo de energía sectorial crece junto con la economía. En el caso de que  $\gamma_{TOTAL}^i \leq 0$ , no expresa esfuerzos de desacoplamiento, por lo que, los factores inhibidores no tienen una influencia sustancial en la reducción del consumo de energía sectorial (Diakoulaki y Mandaraka, 2007; Jiang et al., 2016; Roinioti y Koroneos, 2017).

De acuerdo a Roinioti y Koroneos (2017), valores mayores a cero para  $\gamma_{POB}^i$ ,  $\gamma_{EST}^i$ ,  $\gamma_{INT}^i$  y  $\gamma_{MIX}^i$ , significarían que tienen un efecto inhibitor sobre el consumo de energía sectorial, contribuyendo de esta manera al desacoplamiento sobre el crecimiento económico. Por el contrario, si los índices parciales toman valores negativos muestran un efecto de impulso hacia un mayor consumo de energía sectorial, lo que alejaría al sector de un proceso de desacoplamiento.

### 3. BASE DE DATOS

Los datos del consumo de energía sectorial medidos en kilo tonelada equivalentes de petróleo (Ktep) proceden de los Balances Energéticos publicados por Eurostat actualizados a 2017 (Eurostat, 2017). La serie de datos del VAB a precios constantes proceden de la serie estadística del VAB sectorial a precios corrientes y de los índices de volumen encadenados publicada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). El año

base es 2010 (expresado en millones de euros). Las cifras de la población para el mismo periodo se obtuvieron también del INE (INE, 2018a y 2018b).

Los sectores productivos elegidos para el análisis son Agricultura, silvicultura y pesca, Industria, Sector de la Transformación, Transporte, Servicios y Residencial. Los sectores son los incluidos en los Planes de Acción de Eficiencia Energética y en los balances energéticos. La inclusión del sector de transformación energética responde a la importancia que recibe el fomento de la cogeneración de alta eficiencia dentro del planteamiento integrado para el ahorro de energía, que abarca el sector de suministro de energía y los sectores de consumo final (Directiva 2012/27/UE, 2012). La correspondencia entre estos sectores con la mayor desagregación que ofrece la serie del VAB se detalla en la Tabla A.1.

Las fuentes de energía incluidas en el análisis son Combustibles sólidos, Petróleo, Gas, Renovables, Residuos (no renovables), Nuclear y Electricidad. El detalle de su distribución por sectores se ofrece en la Tabla A.2.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Resultados del Índice de Tapio**

La Tabla 2 presenta la tendencia de los estados de desacoplamiento sectorial obtenidos a partir del Índice de Tapio definido en (1). El sector de Agricultura, silvicultura y pesca pasa de registrar un desacoplamiento negativo fuerte en 2000-2005 y un desacoplamiento fuerte en 2005-2010, a tener un desacoplamiento negativo expansivo en los años 2010-2015. En cuanto al sector Industrial, entre 2010 y 2015, es el único que mantiene un desacoplamiento fuerte en los últimos años (2013-2014 y 2014-2015), considerando que en los años iniciales registró un desacoplamiento negativo expansivo (2000-2005) y un desacoplamiento recesivo (2005-2010).

El sector de la Transformación mantiene una tendencia en los años iniciales (2000-2005 y 2005-2010) y en los últimos años (2013-2014 y 2014-2015), al registrar un desacoplamiento débil o desacoplamiento fuerte. El sector del Transporte parte de un desacoplamiento negativo fuerte (2000-2005), para luego registrar un desacoplamiento fuerte (2005-2010 y 2010-2015).

De su parte, el sector de Servicios muestra un acoplamiento expansivo en los años 2000-2005, 2005-2010 y 2010-2015. Entre 2010 y 2015, mostró un desacoplamiento fuerte en



los años 2013-2014. El sector Residencial también muestra un comportamiento de acoplamiento, el mismo es recesivo para los primeros años de análisis (2000-2005 y 2005-2010); sin mostrar cambios de tendencia, al registrar un acoplamiento expansivo en los años 2014-2015.

**Tabla 2.** Estados de elasticidad de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico a nivel sectorial

Sectores	Período	$\% \Delta E_i$	$\% \Delta Q_i$	$\varepsilon_i$	Significado
Agricultura, silvicultura y pesca	2000-2005	0,208	-0,116	-1,791	DNF
	2005-2010	-0,280	0,087	-3,221	DF
	2010-2015	0,112	0,033	3,420	DNE
	2010-2011	0,072	0,044	1,621	DNE
	2011-2012	0,130	-0,097	-1,346	DNF
	2012-2013	0,051	0,136	0,373	DD
	2013-2014	-0,029	-0,012	2,395	DR
	2014-2015	-0,100	-0,024	4,154	DR
Industria	2000-2005	0,221	0,128	1,719	DNE
	2005-2010	-0,308	-0,127	2,431	DR
	2010-2015	-0,118	-0,096	1,225	DR
	2010-2011	-0,004	-0,059	0,062	DND
	2011-2012	-0,028	-0,061	0,454	DND
	2012-2013	0,001	-0,036	-0,034	DNF
	2013-2014	-0,038	0,019	-2,042	DF
	2014-2015	-0,055	0,042	-1,293	DF
Sector de la Transformación	2000-2005	0,077	0,212	0,365	DD
	2005-2010	-0,109	0,230	-0,471	DF
	2010-2015	0,08	-0,04	-2,12	DNF
	2010-2011	0,011	0,041	0,262	DD
	2011-2012	0,068	-0,056	-1,224	DNF
	2012-2013	-0,073	-0,191	0,382	DND
	2013-2014	-0,001	0,020	-0,060	DF
	2014-2015	0,084	0,185	0,452	DD
Transporte	2000-2005	0,202	-0,014	-14,673	DNF
	2005-2010	-0,069	0,017	-4,086	DF
	2010-2015	-0,10	0,02	-4,03	DF
	2010-2011	-0,031	0,018	-1,750	DF
	2011-2012	-0,075	-0,019	3,936	DR
	2012-2013	-0,047	-0,056	0,835	AR
	2013-2014	0,006	0,039	0,163	DD
	2014-2015	0,050	0,046	1,103	AE
Servicios	2000-2005	0,254	0,220	1,153	AE
	2005-2010	0,164	0,144	1,142	AE
	2010-2015	0,02	0,02	0,98	AE
	2010-2011	0,041	0,007	5,925	DNE
	2011-2012	-0,015	-0,014	1,079	AR

	2012-2013	-0,043	-0,003	15,745	DR
	2013-2014	-0,080	0,010	-7,961	DF
	2014-2015	0,134	0,025	5,408	DNE
<b>Residencial</b>	2000-2005	0,261	0,301	0,868	AR
	2005-2010	0,118	0,137	0,860	AR
	2010-2015	-0,12	-0,15	0,78	DND
	2010-2011	-0,076	-0,034	2,254	DR
	2011-2012	-0,007	-0,090	0,072	DND
	2012-2013	-0,041	-0,051	0,820	AR
	2013-2014	-0,012	-0,001	14,999	DR
	2014-2015	0,011	0,013	0,855	AE

Acoplamiento Expansivo (AE), Acoplamiento Recesivo (AR), Desacoplamiento Débil (DD), Desacoplamiento Fuerte (DF), Desacoplamiento Recesivo (DR), Desacoplamiento Negativo Débil (DND), Desacoplamiento Negativo Fuerte (DNF), Desacoplamiento Negativo Expansivo (DNE).

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados del Índice de Tapio ofrecen una visión panorámica del comportamiento de los sectores en el periodo analizado de la que no se puede extraer un patrón claro. Esto justifica el cálculo el segundo Índice de desacoplamiento.

#### 4.2 Resultados de descomposición LMDI

El análisis de descomposición del consumo de energía se realiza de manera independiente para cada uno de los sectores productivos y fuente energética.

El efecto actividad presenta un patrón común para todos los sectores productivos, toma valores positivos en los años 2000-2005, 2013-2014 y 2014-2015, mientras que para los años comprendidos entre 2005 y 2013 el efecto toma valores negativos (Figura 2-7). Este comportamiento es atribuible a la crisis financiera iniciada en 2008 y a la etapa de recesión de la economía española, lo que coincide con los resultados obtenidos por Román y Colinet (2018). Entre 2008 y 2013, el VAB total decreció un 7,86% (INE, 2018a). Para los años de análisis 2000-2015, si bien el efecto actividad ha fluctuado, contribuye positivamente al consumo de energía en cada uno de los sectores, destacando un papel positivo notable en los años 2000-2005 (Tabla 3-8).

El efecto población, también presenta un comportamiento similar para todos los sectores productivos, pues toma valores positivos entre el 2000 y 2012, mientras que toma valores negativos entre el 2012 y 2015 (Figura 2-7). En la literatura se ha evidenciado que no es habitual que el efecto población tome valores negativos, pues suele actuar como driver o impulsor del consumo de energía (Zhao et al., 2012; Chong et al., 2017; Román et al., 2018; Wang y Feng, 2018); así como, de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes (Donglan et

al., 2010; Li et al., 2015; Cansino et al., 2015; Román et al., 2018b). De acuerdo a Li et al. (2015), el aumento de la población conduciría a un mayor estrés ambiental (incremento de la demanda de energía y, con ello, las emisiones de carbono).

El hecho de que el efecto población tome valores negativos, se puede atribuir a que, la población si bien venía creciendo a un ritmo promedio anual del 1,22% entre el 2000 y 2012, cambia su tendencia a partir del 2013, mostrando un decrecimiento promedio anual del 0,26% hasta el 2015 (INE, 2018b). No obstante, para el período de análisis en su conjunto (2000-2015), el efecto población contribuye positivamente al consumo de energía en todos los sectores productivos.

Los resultados del análisis sectorial de descomposición se detallan a continuación.

#### **4.2.1 Agricultura, silvicultura y pesca**

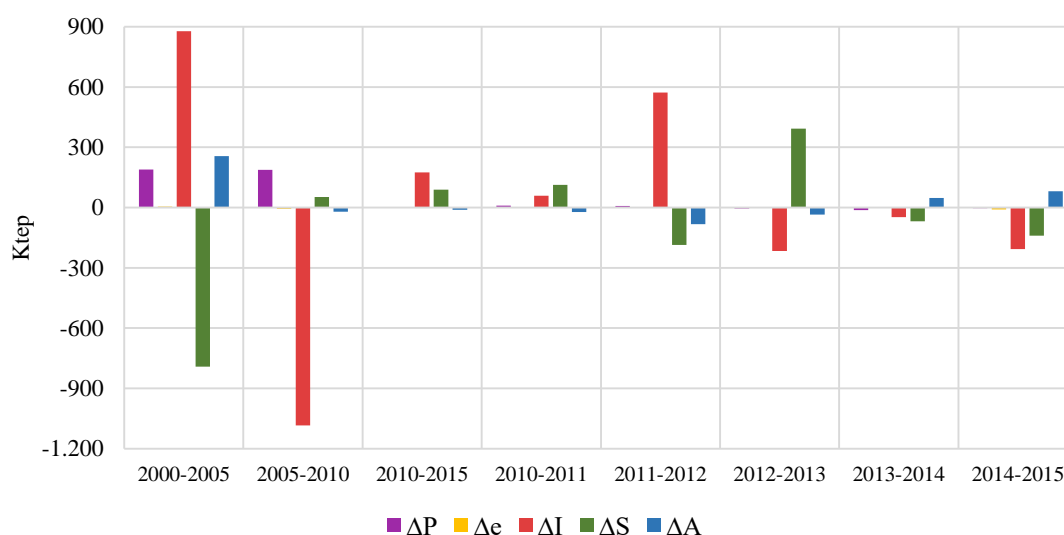
La Figura 2 muestra los resultados de la descomposición del consumo de energía del sector de Agricultura, silvicultura y pesca, donde no se observa un claro patrón de comportamiento de los efectos, pues durante los años de análisis fluctúan entre impulsores (valores positivos) y compensadores (valores negativos) en los cambios del consumo de energía. Los datos de los efectos de la descomposición aditiva para el período 2000-2015 se muestran en la Tabla A.3.

El consumo de energía del sector agrícola disminuyó en 83 ktep entre el 2000 y 2015. El efecto estructura e intensidad energética contribuyeron negativamente al consumo de energía (Tabla 3). El efecto estructura es debido principalmente a su cambio en la estructura económica, representa el 2,65% del VAB en el 2015, casi un punto porcentual menos con respecto al año 2000 (INE, 2018a). Por su parte, el efecto intensidad se deriva de la eficiencia energética que ha obtenido el sector, principalmente en los años 2005-2010.

El efecto mix energético contribuyó levemente de manera positiva al consumo de energía del sector de Agricultura, silvicultura y pesca. Si bien, el uso de petróleo en el sector disminuyó un 9,66% entre el 2000 y 2015, su participación sigue siendo importante (73,91% en el 2015). El consumo de electricidad creció en un 16,16% en el mismo período, cuya participación para el 2015 fue del 20,10%. El uso de energías renovables se incrementó casi seis veces entre el 2000 y 2015, aunque su participación es baja con el

3,21% en 2015. Por lo que la penetración de energías limpias ha sido importante pero no suficiente.

**Figura 2.** Descomposición del consumo de energía para el sector de agricultura, silvicultura y pesca.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector de agricultura.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
ΔP	189,47	187,25	-1,88	8,86	17,17	12,85	1,34
Δe	5,04	-5,76	0,76	2,31	10,19	12,50	11,12
ΔI	878,39	-1.083,71	174,25	59,55	604,57	427,95	379,53
ΔS	-791,88	52,45	89,58	112,60	-56,73	292,66	228,35
ΔA	255,28	-20,35	-11,75	-22,24	-101,47	-134,79	-91,13
ΔTotal	536,30	-870,12	250,96	161,08	473,73	611,16	529,21

**Fuente:** Elaboración propia

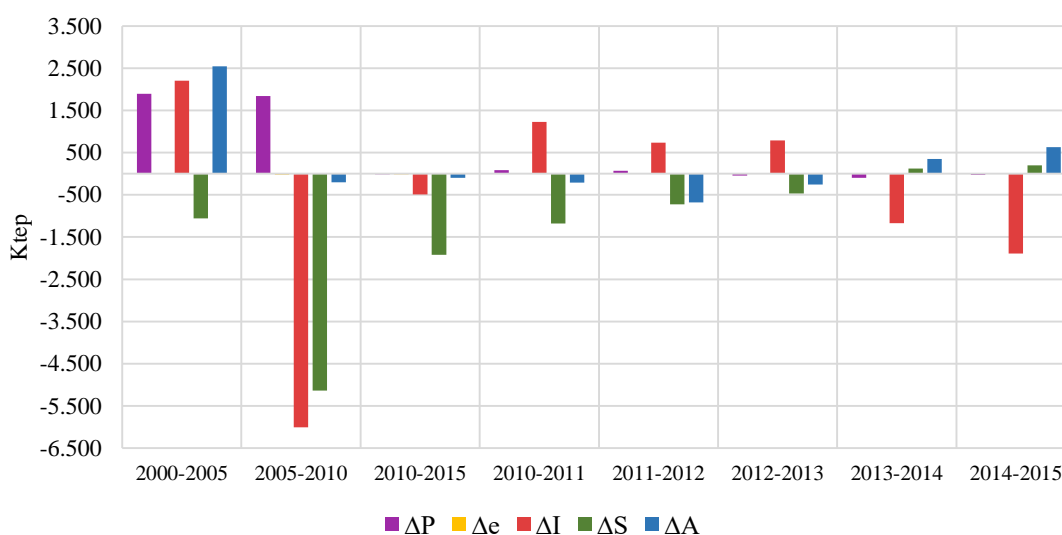
#### 4.2.2 Industria

El sector de la Industria es el que más ha disminuido su consumo de energía entre 2000 y 2015 (-6.465 ktep). El VAB del sector también decreció el 10,95% en el mismo periodo, lo que ha producido que su participación en el VAB llegue a 20,25% en 2015 (ocho puntos porcentuales menos que en el año 2000) (INE, 2018a). En este cambio, el subsector de la construcción ha jugado un papel relevante, que entre 2000 y 2015, perdió algo más de 10 puntos porcentuales de su participación en el sector Industrial (pasó de 41,82% a 31,38%). Entre 2008 y 2013, la Industria decrece un 27,85%, de lo cual, la construcción contribuyó

con el 16,90%. Esto como producto principalmente de la crisis y la etapa de recesión que atravesó la economía española, que ha afectado directamente al sector Industrial y de manera particular a la construcción.

El sector Industrial es el segundo con mayor participación relativa en el VAB, por lo que el cambio en su estructura económica, ha permitido que el efecto estructura sea el principal inhibidor del consumo de energía, como se muestra en la Figura 3. El efecto intensidad fluctúa durante los años de análisis, contribuyendo negativamente al consumo de energía del sector, suponiendo una mejora en la eficiencia energética y la implementación de tecnologías para optimizar el consumo de energía. El efecto estructura e intensidad energética jugaron un papel negativo notable en el consumo de energía del sector en los años 2005-2010.

**Figura 3.** Descomposición del consumo de energía para el sector industrial.



**Fuente:** Elaboración propia

El efecto mix energético, también actuó como compensador del consumo de energía del sector Industrial, aunque de manera más leve (Tabla 4). La mejora en la eficiencia energética se ha combinado con el mayor uso de energías renovables, entre el 2000 y 2015, creció un 3,35%, alcanzando una participación del 7,12% en el 2015 (dos puntos porcentuales más que en el año 2000). De otro lado, ha disminuido el consumo de petróleo (-52,54%), combustibles sólidos (-26,04%), gas (-24,08%) y electricidad (-11,20%), entre el 2000 y 2015.

**Tabla 4.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector industrial.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
$\Delta P$	1.891,55	1.839,32	-15,80	82,49	147,64	106,88	11,14
$\Delta e$	13,01	-19,21	-46,33	-8,68	12,43	22,51	20,16
$\Delta I$	2.203,67	-6.011,19	-2.300,04	609,26	1.026,57	903,61	-501,15
$\Delta S$	-1.056,89	-5.140,43	-73,01	-554,12	-989,16	-560,44	-217,49
$\Delta A$	2.548,52	-199,89	-98,78	-206,95	-872,28	-1.121,46	-755,43
$\Delta$ Total	5.599,86	-9.531,41	-2.533,96	-78,01	-674,81	-648,90	-1.442,77

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.3 Sector de la Transformación

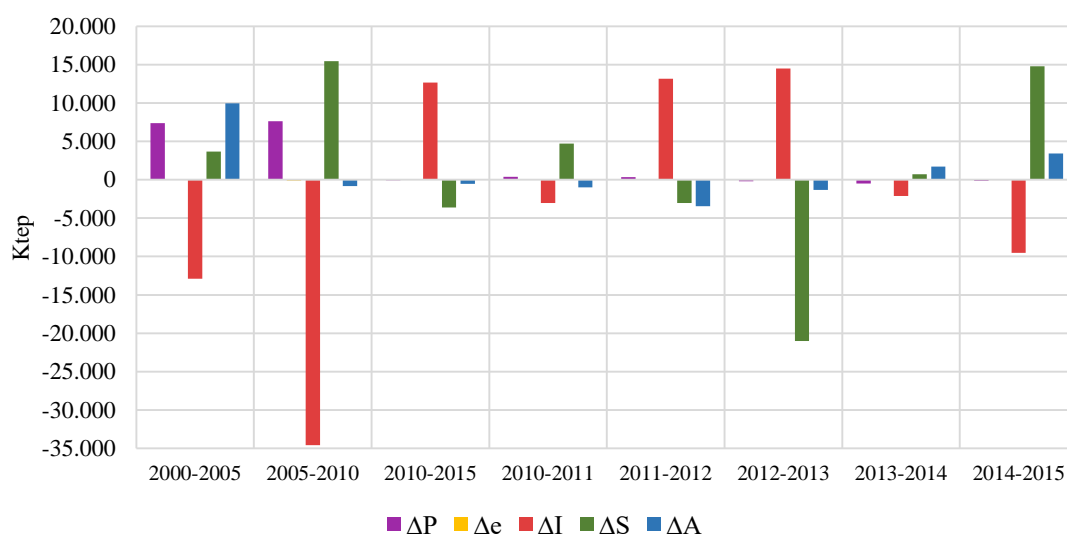
El sector de la Transformación, entre 2010 y 2015, es el que mayor incrementó su consumo de energía (4.271 ktep). Así también, el sector tiene la mayor participación en el consumo de energía, 58,07% en 2015 (un punto porcentual más que el año 2000). En cuanto a su participación en el VAB, es el menor, con el 2,67% en 2015, a diferencia del 2,31% registrado en el año 2000 (INE, 2018a).

Los resultados de la descomposición del consumo de energía del sector de la Transformación se muestran en la Figura 4. El efecto estructura actúa como impulsor del consumo de energía, debido a su mayor participación en la estructura económica. El mayor impacto positivo se da en los años 2005-2010 (15.447 ktep) y 2014-2015 (14.798 ktep). El efecto intensidad energética actuó como inhibidor del consumo de energía, que jugó un papel importante en los años 2005-2010 (-34.571 ktep), lo que supone una mejora en la eficiencia energética.

El efecto mix energético, aunque de una manera más leve, actuó como impulsor del consumo de energía (Tabla 5). A 2015, el petróleo, la energía nuclear y los combustibles sólidos son las fuentes con mayor participación en el sector de la Transformación, con el 62,58%, 13,35% y 12,50% respectivamente. Entre 2000 y 2015, se incrementó el uso de petróleo (6,10%), mientras que disminuyó la utilización de combustibles sólidos (-35,08%) y la nuclear (-7,88%). De su parte, el uso de energías renovables creció casi ocho veces, producto de ello su participación subió tres puntos porcentuales entre 2000 y 2015; aunque continúa en planos secundarios (3,60% a 2015).

Los efectos población, actividad, estructura y mix energético, es decir cuatro de los cinco efectos, han impulsado el consumo de energía del sector de la Transformación entre 2000 y 2015.

**Figura 4.** Descomposición del consumo de energía para el sector de la transformación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector de la transformación.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
$\Delta P$	7.399,58	7.625,38	-84,19	397,47	751,42	526,33	55,75
$\Delta e$	63,36	-118,67	64,14	2,07	36,77	0,36	-0,42
$\Delta I$	-12.891,42	-34.571,10	12.670,33	-3.014,85	9.924,74	23.423,57	21.243,61
$\Delta S$	3.670,55	15.447,47	-3.619,44	4.705,59	1.861,20	-18.359,51	-17.571,60
$\Delta A$	9.969,62	-828,70	-526,39	-997,20	-4.439,66	-5.522,55	-3.781,01
$\Delta Total$	8.211,69	-12.445,61	8.504,44	1.093,08	8.134,47	68,21	-53,67

**Fuente:** Elaboración propia

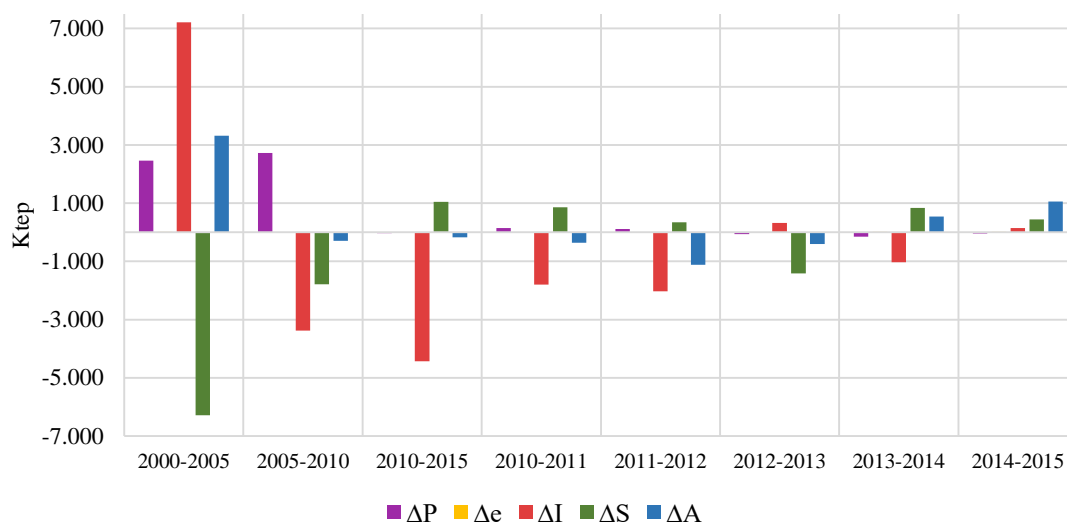
#### 4.2.4 Transporte

El consumo de energía del sector de Transporte se incrementó entre 2000 y 2015 en 365 ktep. El sector es el segundo en la participación del consumo de energía, con el 17,63% en el 2015, similar a la registrada en el año 2000 (17,84%). La participación en el VAB del sector disminuyó casi un punto porcentual entre 2000 y 2015 (4,26% a 2015), no obstante, el sector mostró un crecimiento del VAB del 2,69% en el mismo período (INE, 2018a).

La Figura 5 muestra los resultados de descomposición del sector de Transporte. El efecto intensidad energética actúa como inhibidor del consumo de energía, que registró su mayor impacto negativo en los años 2005-2010 (-3.377 ktep), lo que sugiere que la eficiencia energética se ha mejorado mucho en el sector. El efecto estructura fluctúa en los años de

análisis, compensando el consumo de energía, debido principalmente a su cambio en la estructura económica. El efecto estructura jugó un papel negativo notable en los años 2000-2005 (-6.283 Ktep).

**Figura 5.** Descomposición del consumo de energía para el sector del transporte.



**Fuente:** Elaboración propia

El efecto mix energético contribuyó levemente de manera negativa al consumo de energía del sector de Transporte (Tabla 6). El petróleo es la fuente energética que se concentra en el sector, aunque su consumo disminuyó en un 3,01% entre 2000 y 2015, perdiendo 4 puntos porcentuales en la participación (94,67% a 2015). El consumo de energías renovables se incrementó en casi 14 veces entre 2000 y 2015, obteniendo una participación del 2,85% para 2015 a diferencia del 0,21% registrado en el año 2000.

De tal manera que, el efecto actividad y el efecto población son los que han impulsado el consumo de energía del sector de Transporte.

**Tabla 6.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector del transporte.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
$\Delta P$	2.461,43	2.724,91	-28,16	141,88	250,12	178,08	18,99
$\Delta e$	3,59	-16,03	-5,14	-0,32	-4,93	-2,75	-1,54
$\Delta I$	7.216,05	-3.376,58	-4.428,66	-1.798,77	-3.784,57	-3.363,53	-4.483,65
$\Delta S$	-6.283,37	-1.787,93	1.040,77	858,07	1.173,50	-350,56	550,32
$\Delta A$	3.316,34	-296,13	-176,06	-355,97	-1.477,82	-1.868,47	-1.287,55
$\Delta Total$	6.714,05	-2.751,77	-3.597,26	-1.155,11	-3.843,70	-5.407,23	-5.203,43

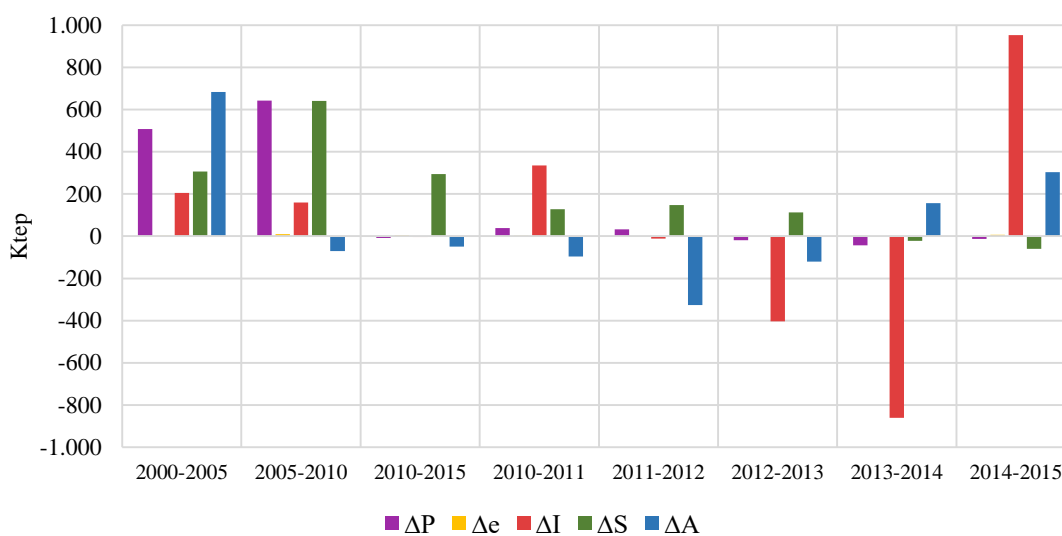
**Fuente:** Elaboración propia



#### 4.2.5 Servicios

El sector de Servicios presenta una importancia relativa para la economía española. En 2015, el sector tuvo una participación en el VAB del 69,29%, casi diez puntos porcentuales más que en el año 2000 (INE, 2018a). Entre 2000 y 2015, el consumo de energía del sector también se incrementó, esto en 3.325 ktep. La mayor participación en la estructura económica del sector Servicios, ha permitido que el efecto estructura actúe como principal impulsor del consumo de energía, como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6.** Descomposición del consumo de energía para el sector de servicios.



**Fuente:** Elaboración propia

El efecto intensidad fluctúa en los años de análisis y contribuye positivamente el consumo de energía del sector de Servicios. El efecto jugó un papel positivo importante en los años 2014-2015 (953 ktep). Lo que sugiere que la eficiencia energética en el sector no ha permitido compensar el consumo de energía. En la Tabla 7 se muestran los resultados de descomposición acumulados. Se evidencia que el efecto mix energético promueve levemente el consumo de energía. Debido principalmente al incremento del consumo de gas, que tiene una participación del 26,31% en el 2015, a diferencia del 9,43% del año 2000, lo que significó un incremento de más de cuatro veces su consumo. El uso de energías renovables casi se triplicó en el sector, no obstante, su participación respecto a las otras fuentes todavía no es significativa, apenas el 1,52% en el 2015.

En el sector de Servicios los cinco efectos de descomposición, han contribuido de manera positiva al consumo de energía entre el 2000 y 2015.

**Tabla 7.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector de servicios.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
$\Delta P$	507,55	641,94	-7,80	38,65	70,37	50,14	5,11
$\Delta e$	2,47	9,01	3,42	1,14	0,50	-0,36	-2,38
$\Delta I$	204,93	159,98	-2,05	335,25	321,60	-83,59	-948,05
$\Delta S$	306,21	641,31	295,00	127,79	271,73	377,47	339,89
$\Delta A$	683,84	-69,76	-48,74	-96,97	-415,78	-526,12	-346,55
$\Delta Total$	1.705,00	1.382,46	239,83	405,87	248,42	-182,45	-951,97

**Fuente:** Elaboración propia

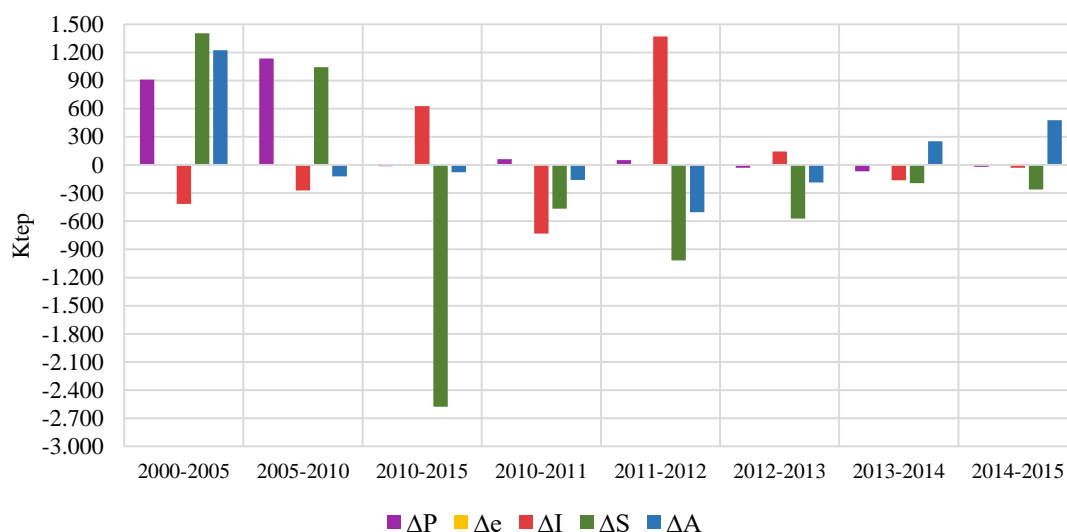
#### 4.2.6 Residencial

El sector Residencial es el tercer sector en incrementar su consumo de energía entre el 2000 y 2015 (2.876 ktep). Para el mismo periodo, el VAB del sector creció un 25%, impulsado principalmente por el crecimiento de los años 2000-2005 (30,05%), ya que para los años 2010-2015 el sector se contrae en un 15,50% (INE, 2018a).

La Figura 7 muestra los resultados de descomposición del sector de Residencial. El efecto estructura actuó como inhibidor del cambio de consumo de energía del sector. Debido principalmente al cambio de estructura económica registrada en los años 2010-2015 (disminuye un 0,16%, llegando al 0,88% en 2015); ya que en los años iniciales el efecto es positivo (2000-2005 y 2005-2010). El efecto intensidad energética actúa como compensador del consumo de energía del sector Residencial, jugando un papel importante en los años 2010-2011 (-731 ktep). Lo que sugiere que se ha ganado eficiencia energética en el sector.

El efecto mix energético, si bien es de manera leve, ha contribuido de manera positiva al consumo de energía del sector de Servicios, impulso generado en los primeros años 2000-2005 y 2005-2010 (Tabla 8). Entre 2000 y 2015, la fuente más utilizada en el sector es la electricidad que ha crecido un 60,61%, alcanzando una participación del 40,49% a 2015 (más de nueve puntos porcentuales que el año 2000). La participación del petróleo cayó casi catorce puntos porcentuales (20,14% a 2015), ya que su consumo disminuyó un 26,23%. En el sector Residencial también ha crecido el consumo de gas (49,41%) y de energías renovables (36,14%), alcanzado una participación en el año 2015 del 20,29% y 18,48% respectivamente.

**Figura 7.** Descomposición del consumo de energía para el sector residencial.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 8.** Resultados de descomposición del consumo de energía acumulado para el sector residencial.

Efectos	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2010-2011	2010-2012	2010-2013	2010-2014
$\Delta P$	909,25	1.134,14	-12,64	62,99	115,13	82,10	8,67
$\Delta e$	8,25	6,36	-3,28	-1,13	-1,30	-2,57	-3,49
$\Delta I$	-415,76	-272,36	628,69	-731,05	695,52	832,05	655,22
$\Delta S$	1.405,27	1.042,84	-2.577,29	-465,40	-1.523,86	-2.087,95	-2.282,84
$\Delta A$	1.225,05	-123,25	-79,03	-158,05	-680,21	-861,39	-588,05
$\Delta Total$	3.132,06	1.787,74	-2.043,54	-1.292,63	-1.394,72	-2.037,76	-2.210,49

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3 Análisis de desacoplamiento segundo nivel

El índice de desacoplamiento de segundo nivel basado en los resultados del análisis LMDI-I, permite conocer el esfuerzo realizado por los sectores productivos en el proceso de lograr el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

La Tabla 9 presenta los resultados del índice de desacoplamiento sectorial  $\gamma_{TOTAL}^i$  junto con el detalle de la contribución de los efectos en el proceso el desacoplamiento  $\gamma_{POB}^i$ ,  $\gamma_{EST}^i$ ,  $\gamma_{INT}^i$  y  $\gamma_{MIX}^i$ . La Tabla 9 también incluye el efecto actividad ( $\Delta A^i$ ) de la descomposición LMDI, ya que, en función de su signo se aplica la ecuación (11) o ecuación (13) para el cálculo del índice de desacoplamiento.

El sector de la Industria y Transporte muestran nulos esfuerzo de desacoplamiento para los años 2000-2005, esta tendencia cambia para los años 2005-2010 y 2010-2015, ya que

el índice de desacoplamiento es mayor que 1, lo que indica fuertes esfuerzos de desacoplamiento. En estos años los efectos inhibidores del consumo de energía son más significativos que el efecto actividad, permitiendo una reducción del consumo de energía mientras la economía crece.

Los sectores de Agricultura, silvicultura y pesca y de Transformación, presentan fuertes esfuerzos de desacoplamiento en los años 2005-2010 y nulos esfuerzo de desacoplamiento en los años 2010-2015. Esto luego de que el sector de Agricultura, silvicultura y pesca iniciara con nulos esfuerzos de desacoplamiento y el sector de la transformación con débiles esfuerzos de desacoplamiento (2000-2005). El presentar un débil esfuerzo de desacoplamiento, implica que los efectos inhibidores del consumo de energía del sector son más débiles que el efecto actividad, por lo que el consumo de energía crece junto con la economía.

Por su parte el sector Residencial, solo para los años 2010-2015 presenta fuertes esfuerzos de desacoplamiento, mientras que el sector de Servicios no evidencia esfuerzos de desacoplamiento en los años 2000-2005, 2005-2010 y 2010-2015. Esto producto de que para el sector de Servicios, de acuerdo a los resultados LMDI-I para 2000-2015, todos los efectos contribuyeron positivamente al consumo de energía.

En cuanto al análisis interanual entre 2010 y 2015, el sector de Agricultura, silvicultura y pesca y el sector Industrial muestran un patrón de comportamiento igual en estos años. Se evidencian que no hay esfuerzos de desacoplamiento entre 2010 y 2013, lo que es atribuible a la etapa de recesión de la economía española; de tal manera que, los efectos inhibidores son de menor impacto que el derivado del efecto actividad, y no tienen influencia sustancial en la reducción del consumo de energía. Para los años 2013-2014 y 2014-2015, los sectores evidencian fuertes esfuerzos de desacoplamiento.

Entre 2010 y 2015, el sector de Transporte entre 2010 y 2015 va alternando entre esfuerzos de desacoplamiento débil y fuerte, excepto en los años finales (2014-2015), donde muestra nulos esfuerzos para el desacoplamiento. De su parte, el sector Residencial evidencia fuertes esfuerzos de desacoplamiento en los años 2010-2011, 2012-2013 y 2013-2014, finalizando con débiles esfuerzos de desacoplamiento en 2014-2015. Estos sectores no se vieron afectados directamente por la etapa de recesión de la economía, ya que presentan fuertes o débiles esfuerzos para el desacoplamiento, exceptuando el caso del sector Residencial en los años 2011-2012. Por su parte, el sector de Servicios muestra

fuertes esfuerzos de desacoplamiento en los años 2012-2013 y 2013-2014, los demás años se ha evidenciado nulos esfuerzos de desacoplamiento. El sector de la Transformación muestra fuertes esfuerzos de desacoplamiento para los años 2012-2013 y 2013-2014, y finaliza el periodo de análisis con nulos esfuerzos de desacoplamiento (2014-2015).

De otro lado, cuando los sectores productivos muestran esfuerzos nulos de desacoplamiento o fuertes esfuerzos de desacoplamiento, los índices parciales de intensidad energética y estructura, son los que más han contribuido para cada caso. Es decir, ante nulos esfuerzos de desacoplamiento los índices parciales de intensidad energética y/o estructura toman valores negativos, lo que no contribuye al proceso de desacoplamiento; mientras que, cuando hay fuertes esfuerzos de desacoplamiento, son estos mismos índices parciales los de mayor impacto, como efectos inhibidores del consumo de energía sectorial, lo que coadyuva al desacoplamiento con el crecimiento económico.

Adicionalmente, en el años 2013-2014, cinco de los seis sectores presentan fuertes esfuerzos de desacoplamiento, mientras que el sector de Transporte muestra un esfuerzo de desacoplamiento débil, y es el índice parcial de intensidad energética el que más ha contribuido en estos esfuerzos de desacoplamiento en todos los sectores.

**Tabla 9.** Resultados del índice de desacoplamiento segundo nivel.

Sectores	Período	$\Delta A^i$	$\gamma^i_{POB}$	$\gamma^i_{MIX}$	$\gamma^i_{INT}$	$\gamma^i_{EST}$	$\gamma^i_{TOTAL}$	Significado
<b>Agricultura, silvicultura y pesca</b>	<b>2000-2005</b>	255,282	-0,742	-0,020	-3,441	3,102	-1,101	NED
	<b>2005-2010</b>	-20,350	-9,202	0,283	53,254	-2,577	40,758	EDF
	<b>2010-2015</b>	-11,748	0,160	-0,064	-14,832	-7,625	-23,362	NED
	<b>2010-2011</b>	-22,237	-0,399	-0,104	-2,678	-5,063	-9,244	NED
	<b>2011-2012</b>	-82,355	-0,100	-0,003	-6,947	2,254	-5,796	NED
	<b>2012-2013</b>	-34,271	0,157	0,000	6,311	-11,478	-6,010	NED
	<b>2013-2014</b>	47,783	0,272	0,001	1,005	1,438	2,715	EDF
	<b>2014-2015</b>	81,829	0,042	0,124	2,519	1,716	4,400	EDF
<b>Industria</b>	<b>2000-2005</b>	2548,524	-0,742	-0,005	-0,865	0,415	-1,197	NED
	<b>2005-2010</b>	-199,889	-9,202	0,096	30,073	25,716	45,683	EDF
	<b>2010-2015</b>	-100,015	0,160	0,120	4,869	19,184	23,333	EDF
	<b>2010-2011</b>	-208,050	-0,399	0,000	-5,891	5,664	-1,625	NED
	<b>2011-2012</b>	-679,014	-0,100	0,001	-1,088	1,065	-1,121	NED
	<b>2012-2013</b>	-255,808	0,157	0,000	-3,097	1,840	-2,101	NED
	<b>2013-2014</b>	346,961	0,272	0,001	3,376	-0,361	3,288	EDF
	<b>2014-2015</b>	627,596	0,042	0,003	3,014	-0,320	2,738	EDF
<b>Sector de la Transformación</b>	<b>2000-2005</b>	9969,621	-0,742	-0,006	1,293	-0,368	0,176	EDD
	<b>2005-2010</b>	-828,695	-9,202	0,143	41,717	-18,641	13,018	EDF
	<b>2010-2015</b>	-526,392	0,160	-0,122	-24,070	6,876	-18,156	NED

	<b>2010-2011</b>	-997,196	-0,399	-0,002	3,023	-4,719	-3,096	NED
	<b>2011-2012</b>	-3441,842	-0,100	-0,002	-3,820	0,877	-4,046	NED
	<b>2012-2013</b>	-1307,405	0,157	0,007	-11,079	16,085	4,170	EDF
	<b>2013-2014</b>	1737,893	0,272	0,000	1,222	-0,424	1,070	EDF
	<b>2014-2015</b>	3438,698	0,042	0,001	2,772	-4,304	-1,489	NED
<b>Transporte</b>	<b>2000-2005</b>	3316,345	-0,742	-0,001	-2,176	1,895	-1,025	NED
	<b>2005-2010</b>	-296,132	-9,202	0,054	11,402	6,038	7,292	EDF
	<b>2010-2015</b>	-176,064	0,160	0,029	25,154	-5,911	18,432	EDF
	<b>2010-2011</b>	-355,968	-0,399	0,001	5,053	-2,411	1,245	EDF
	<b>2011-2012</b>	-1118,446	-0,100	0,001	1,810	-0,307	0,404	EDD
	<b>2012-2013</b>	-400,182	0,157	0,010	-0,793	3,534	1,907	EDF
	<b>2013-2014</b>	542,413	0,272	0,000	1,889	-1,536	0,624	EDD
	<b>2014-2015</b>	1058,701	0,042	-0,001	-0,139	-0,419	-0,517	NED
<b>Servicios</b>	<b>2000-2005</b>	683,840	-0,742	-0,004	-0,300	-0,448	-1,493	NED
	<b>2005-2010</b>	-69,763	-9,202	-0,129	-2,293	-9,193	-21,817	NED
	<b>2010-2015</b>	-48,732	0,160	-0,069	0,090	-6,053	-6,872	NED
	<b>2010-2011</b>	-96,968	-0,399	-0,012	-3,457	-1,318	-6,186	NED
	<b>2011-2012</b>	-326,662	-0,100	0,000	0,035	-0,453	-1,518	NED
	<b>2012-2013</b>	-121,071	0,157	0,001	3,337	-0,935	1,559	EDF
	<b>2013-2014</b>	156,881	0,272	0,001	5,492	0,140	5,905	EDF
	<b>2014-2015</b>	303,101	0,042	-0,020	-3,144	0,198	-2,924	NED
<b>Residencial</b>	<b>2000-2005</b>	1225,048	-0,742	-0,007	0,339	-1,147	-1,557	NED
	<b>2005-2010</b>	-123,254	-9,202	-0,052	2,210	-8,461	-16,504	NED
	<b>2010-2015</b>	-79,029	0,160	0,041	-7,955	32,612	23,858	EDF
	<b>2010-2011</b>	-158,045	-0,399	0,007	4,626	2,945	6,179	EDF
	<b>2011-2012</b>	-502,594	-0,100	0,000	-2,725	2,028	-1,797	NED
	<b>2012-2013</b>	-187,261	0,157	0,000	-0,773	3,050	1,434	EDF
	<b>2013-2014</b>	251,688	0,272	0,000	0,641	0,774	1,686	EDF
	<b>2014-2015</b>	477,978	0,042	0,000	0,059	0,550	0,651	EDD

No hay Esfuerzos de Desacoplamiento (NED), Esfuerzos de Desacoplamiento Débil (EDD), Esfuerzos de Desacoplamiento Fuerte (EDF)

**Fuente:** Elaboración propia

## 5. DISCUSIÓN

Durante el periodo de análisis 2000-2015, se han implementado planes de acción de eficiencia energética, como son PAE4 2008-2020 y PAEE 2011-2020, de la mano de medidas para el desarrollo de energías renovables, como es el Plan de Energías Renovables 2005-2010, PER 2005-2010 (MITC, 2005b) y el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables en España 2011-2020, PANER 2011-2020 (MITC, 2010).

Entre 2005 y 2010, los sectores que más han incrementado el consumo de energías renovables son Transporte (5,52 veces), Agricultura, silvicultura y pesca (3,5 veces), Servicios (1,29 veces) y Residencial (1,27 veces). Estos cambios coinciden con la implementación del PER 2005-2010. Tras de la implementación del PANER 2011-2020,

los sectores que evidenciaron mayores incrementos en el consumo de energía renovable entre 2010 y 2015, fueron el sector de la Transformación (2,73 veces), Servicios (1,54 veces), Industria (1,17 veces) y Agricultura, silvicultura y pesca (1,16 veces). No obstante, de estos sectores solo el Residencial alcanza una participación del 18,48% a 2015, en los demás sectores es inferior al 8% (Eurostat, 2017).

El efecto que actúa como proxy de la demanda de energía es el efecto población (EP), de acuerdo a los resultados de descomposición LMDI-I obtenidos, muestran que actúa como impulsor del consumo de energía en los sectores productivos entre el 2000 y 2015. Se ha identificado dos subperíodos de este efecto, cuando toma valores positivos (2000-2012) y cuando toma valores negativos (2012-2015). Como se había manifestado anteriormente, este último comportamiento no es común en la literatura, no obstante, es debido al decrecimiento de la población de España a partir del año 2013. En este segundo subperíodo, el índice parcial del efecto población (IPEP) toma valores positivos, contribuyendo a que los sectores muestren fuertes o débiles esfuerzos de desacoplamiento, como es el sector de Agricultura, silvicultura y pesca e Industrial (2013-2014 y 2014-2015), el sector de la Transformación, Transporte y Servicios (2012-2013, 2013-2014) y el sector Residencial (2012-2013, 2012-2013, 2013-2014).

Para el 2015, el sector de la Transformación es el que más demanda energía, con una participación del 58,07%, seguido del sector de Transporte (17,63%), Industria (9,92%), Residencial (7,80%), Servicios (5,26%) y Agricultura, silvicultura y pesca (1,31%) (Eurostat, 2017). Los planes de acción para la eficiencia energética han centrado sus medidas en los sectores que más demanda de energía presentan. Es así que en el PAEE 2011-2020, se pretendía un ahorro de consumo de energía hasta 2020 del sector de la Transformación de 11.312 ktep (38,80%), del sector de Transporte 9.023 ktep (30,95%) y de la Industria un ahorro de 4.489 ktep (15,40%).

El efecto mix energético (EM) captura la contribución de la penetración de energías limpias en el consumo de energía sectorial. Entre 2000 y 2015, el EM actúa como compensador del consumo de energía en el sector de la Industria y del Transporte. Cuando el EM registra valores negativos en el sector Industrial (2013-2014 y 2014-2015) y del Transporte (2005-2010, 2010-2011 y 2011-2012), se evidenciaron fuertes o débiles esfuerzos de desacoplamiento. El Índice parcial del efecto mix energético (IPEM) toma valores positivos, y aunque de manera leve, contribuye en el proceso de desacoplamiento. En estos sectores la penetración de energías limpias ha jugado un papel relevante en el

proceso de desacoplamiento. Estos resultados están en línea con los obtenidos por Cansino et al. (2015), que establece que un mix energético más limpio, ayuda a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de España.

En los sectores de Agricultura, silvicultura y pesca, sector de la Transformación, Servicios y Residencial, el EM contribuye positivamente al consumo de energía durante el 2000 y 2015. El en sector de la Transformación, se debe destacar que, en los años 2005-2010 y 2012-2013, cuando este sector tuvo fuertes esfuerzos de desacoplamiento, el EM registró valores negativos, y el IPEM tomó valores positivos (aunque muy pequeños), lo que contribuyó al proceso de desacoplamiento. Como ya lo recomendaba Amores (2016), es necesario un mayor uso de energías renovables para la generación de energía con el propósito de descarbonizar el sector eléctrico de España. El fomento de las energías renovables ha sido importante, como resultado de la implementación de los planes de energías renovables y los planes de acción de eficiencia energética (PAE4 2008-2012 y PAEE 2011-2020), pero no suficiente para alcanzar una sustitución de combustibles fósiles en sus procesos de producción, que coadyuve al proceso de desacoplamiento con el crecimiento económico.

De otro lado, el efecto intensidad (EI) actuó como compensador del consumo de energía en los sectores de Agricultura, silvicultura y pesca, Industria, sector de la Transformación, Transporte y Residencial, lo que supone un mayor eficiencia energética. El sector Industrial es el que más disminuyó su consumo de energía en -6.465 ktep, de los cuales el 66,43% es debido al efecto intensidad.

En los años 2005-2010, el EI jugó un papel negativo importante en los sectores de Industria, sector de la Transformación, Transporte y Residencial, que coincide con la implementación del PAE4 2008-2012. Así también, el índice parcial del efecto intensidad (IPEI) mostró valores positivos en estos años, siendo el índice que más contribuye para que estos sectores muestren fuertes esfuerzos de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico (excepto el sector Residencial). Entre 2010 y 2015, el EI compensó el consumo de energía de los sectores de Agricultura, silvicultura y pesca, Industria y Residencial (2013-2014 y 2014-2015), del sector de la Transformación (2013-2014) y sector del Transporte (2010-2011, 2011-2012 y 2013-2014), etapa que corresponde a la implementación del plan PAEE 2011-2020. De igual manera, el IPEI mostró valores positivos en estos años, contribuyendo a que los sectores evidencien fuertes o débiles esfuerzos de desacoplamiento.



Teniendo en cuenta algunas diferencias relacionadas a las variables y periodos analizados, los resultados son similares a los obtenidos por Mendicule (2012), que para el periodo 2000-2010 muestra que los sectores de Transporte, Industria y la generación de electricidad son los que contribuyen a reducir la intensidad energética. Román y Sanz (2017), concluyen que los sectores de Agricultura, Industria y Transporte son más relevantes desde una perspectiva de eficiencia energética. Román y Colinet (2018), también concluyen que el efecto intensidad fue el principal inhibidor de los cambios del consumo de energía de los sectores productivos entre 2000 y 2008, por lo que la mejora en la eficiencia energética podría permitir el desacoplamiento del consumo de energía y el crecimiento económico.

Los resultados del efecto estructura (ES) han mostrado que el ES ha compensado el consumo de energía en los sectores de Agricultura, silvicultura y pesca, Industria, Transporte y Residencial. Cuando el ES registra valores negativos, el Índice parcial del efecto estructura (IES) ha mostrado que toma valores positivos, lo que ha contribuido notablemente a que hayan fuertes esfuerzos de desacoplamiento, esto es, en el sector de Agricultura, silvicultura y pesca e Industria en los años 2000-2005, Transporte (2005-2010 y 2012-2013) y Residencial (2010-2011, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015). Excepto en el sector Residencial en los años 2014-2015, que muestra esfuerzos débiles de desacoplamiento.

El impacto del ES en el consumo de energía depende de los sectores de alta intensidad energética. Entre 2000 y 2015, el sector industrial que es uno de los sectores intensivos en consumo energético, decreció el 10,95% (INE, 2018a), lo que permitió que sectores como el de Transformación y Servicios obtengan mayor participación en el VAB, y por ende el ES actúe como impulsor. Por ello, es importante considerar las inversiones en los planes de eficiencia energética, cuya focalización debería ser hacia los sectores más intensivos en el consumo de energía. De hecho, la inversión del PAEE 2011-2020 asciende a 45.985 millones de euros, los que presentan mayor participación son Edificios y Equipamiento, que incluye el sector Residencial (59,42%), Industria (17,53%), sector de la Transformación (12,98%) y Transporte (6,75%).

El decrecimiento de sectores que son intensivos en energía, como la Industria y el Transporte, ha permitido que la estructura económica cambie hacia los servicios principalmente. Lo que está acorde con los resultados obtenidos por Mendicluce (2013), quien muestra que el efecto estructura contribuye a la reducción del consumo de energía

en España entre el 2000 y 2010. Así también, la mayor participación del sector de Servicios ha dado como resultado que todos los efectos contribuyan positivamente al consumo de energía. Esto es coherente con los hallazgos de Román y Colinet (2018) y Fernández González (2015), que concluyen que la mayor participación del sector Servicios en la estructura económica incrementa la intensidad energética del sector.

En cuanto al efecto actividad (EA), contribuyó positivamente al consumo de energía de los sectores, a pesar de que la economía española atravesó por una etapa de crisis y recesión entre 2008 y 2013. Esta etapa crítica de la economía, no ha impedido que se pongan en marcha los planes de energías renovables y los planes de acción para la eficiencia energética, cuya implementación coinciden en estos años. De la inversión del PAEE 2011-2020, el 11% corresponde a apoyos gestionados por el sector público y el 89% a la aportación privada. Las inversiones de los agentes privados responden al cumplimiento normativo del plan y al efecto incentivador que tendrán por parte del sector público.

De acuerdo a los resultados obtenidos el efecto actividad y población contribuyen positivamente al consumo de energía y son compensados parcialmente por el efecto intensidad y estructura, De tal manera que, aunque el sector de la Transformación, Transporte y Residencial hayan mejorado en eficiencia energética, el crecimiento de la actividad económica sigue impulsando el consumo de energía.

## **6. CONCLUSIONES**

El estudio proporcionó evidencias acerca de los factores clave en el cambio del consumo de energía y sobre el proceso de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico para los sectores relevantes en la planificación de la eficiencia energética de España, para el periodo 2000-2015. La aplicación del método de descomposición LMDI-I, fue útil para analizar los factores impulsores de los cambios en el consumo de energía sectorial, que además fueron la base para estudiar el proceso de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico, análisis complementado con el índice de Tapio.

La intensidad energética fue un factor clave en el cambio del consumo de energía sectorial, contribuyendo negativamente. Fomentando de esta manera el proceso de desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico sectorial de España. Los sectores de sectores de Agricultura, silvicultura y pesca, Industria, sector de

la Transformación, Transporte y Residencial, son los que mejor aprovecharon las medidas implementadas por los planes de eficiencia energética.

El efecto intensidad energética actuó como inhibidor del cambio de consumo de energía en todos los sectores analizados, excepto en el sector de Servicios. De hecho, en este último todos los factores contribuyeron de manera positiva al cambio en el consumo de energía. Las medidas consideradas en los planes de eficiencia energética de sector de Servicios se enfocan en el alumbrado público y agua, por lo que sería importante analizar el consumo de energía de actividades como comercio y hostelería, ya que son actividades con dinamismo económico y pueden contribuir al ahorro y eficiencia energética.

Un elemento observado en análisis de descomposición es que, en la mayoría de los años analizados para los diferentes sectores, el efecto intensidad y el efecto estructura toman una dirección opuesta. Es necesario señalar que, el cambio de la estructura económica es un proceso endógeno que no solo responde a la necesidad de una eficiencia energética mediante el ahorro de energía, sino que puede estar relacionada con los precios de la energía, mejores condiciones económicas, sustitución de combustibles fósiles, entre otros. De esta manera, se debe considerar una de las limitaciones del efecto intensidad como medida de los cambios en la eficiencia, y es que, una intensidad decreciente puede darse no necesariamente por una mejora en la eficiencia. Esto sin ánimos de subestimar la medida, sino más bien para tener en cuenta al analizar los resultados obtenidos.

Lo anterior es importante por cuanto, si bien el efecto intensidad juega un papel importante, se considera que todavía hay un campo de acción importante mejorar la eficiencia energética de los sectores productivos. Estos esfuerzos de mejora pueden ser más eficientes en sectores más intensivos en energía que en sectores con baja intensidad. Entre ellos, el sector de la Transformación en busca del fomento de la cogeneración de alta eficiencia.

El impacto del efecto mix energético en el proceso de desacoplamiento fue relativamente pequeño. La penetración de energías limpias jugó un papel relevante en el sector de la Industria y del Transporte. El consumo de energías renovables se ha incrementado en todos los sectores analizados entre 2000 y 2015, asociado a una mayor inversión destinada a desarrollar tecnología verde, que genere mayor eficiencia energética y por ende producción más limpia. A lo que también se suma la implementación de medidas de política. No obstante, la participación de las energías renovables en la producción aún es

relativamente baja, por lo que no ha sido suficiente para sustituir el consumo de combustibles fósiles. Por lo tanto es necesario no escatimar esfuerzos en el aprovechamiento de recursos para la generación de energía renovable y la optimización de la infraestructura energética instalada.

Los resultados del análisis de desacoplamiento revelan que la interpretación de los valores del índice de Tapio no difieren sustancialmente con el índice de desacoplamiento en la mayoría de sectores, ya que presentan una tendencia similar. En efecto, con los dos métodos se coincide al identificar años con desacoplamiento fuerte o cuando no lo hubo. Se puede concluir que los sectores no muestran una tendencia clara hacia un proceso de desacoplamiento. El índice de desacoplamiento, muestra que el años que se evidenciaron fuertes esfuerzos de desacoplamiento, el efecto intensidad y estructura, a través de sus índices parciales, fueron los factores que más contribuyeron en este proceso.

Además se ha evidenciado que existe una heterogeneidad sectorial en los esfuerzos para el desacoplamiento, ya que sectores como el Industrial y el de Transporte son los que más esfuerzos han evidenciado para el proceso de desacoplamiento, mientras que el sector de Servicios es el que menos esfuerzos ha presentado. De esta manera, teniendo en cuenta el papel de la eficiencia energética en este proceso, sería importante fortalecer la cooperación tecnológica y de innovación entre sectores y actividades más intensivas en consumo de energía con las menos intensivas.

La implementación de políticas energéticas en pro de la eficiencia energética, se han vuelto desafiantes para una economía española que se encuentra en una etapa de recuperación económica, por lo que las expectativas deben ser prudentes. Además, se debe considerar que estas políticas podrían tener un efecto limitado si sus fuerzas subyacentes no se gestionan de manera adecuada, por lo que un efectivo seguimiento y evaluación de los planes de acción para la eficiencia energética sería importante. Finalmente, para fomentar el desacoplamiento entre el consumo de energía y el crecimiento económico la ruta a seguir es el ahorro y la eficiencia energética.

## REFERENCIAS

- Alcántara, V., Río, P., Hernández, F., 2010. Structural analysis of electricity by productive sectors. The Spanish case. *Energy* 35, 2088–2098.
- Amores, A., 2016. Un modelo energético sostenible para España en 2050 Recomendaciones de política energética para la transición. *Cuaderenos de Energía* 49, 55–74.
- Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy* 32, 1131-1139.
- Ang, B.W., 2015. LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy* 86, 233-238.
- Ang, B.W., Choi K.H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy Journal* 18(3), 59–73.
- Ang, B.W., Huang, H.C., Mu, A.R., 2009. Properties and linkages of some index decomposition analysis methods. *Energy Policy* 37, 4624-4632.
- Ang, B.W., Liu N., 2007a. Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods. *Energy Policy* 35(3), 1426–1432.
- Ang, B.W., Liu, F.L., 2001. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 26, 537–548.
- Ang, B.W., Liu, N., 2007b. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy* 35, 238-246.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H., 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy* 23(6), 489-495.
- Arocena, P., Gómez-Plana, A., Peña, S., 2016. A Decomposition of the Energy Intensity Change in Spanish Manufacturing. *International Series in Operations Research and Management Science* 249, 365-390. DOI: 10.1007/978-3-319-48461-7\_15.
- Brizga, J., Feng, K., Hubacek, K., 2013. Drivers of CO<sub>2</sub> emissions in the former Soviet Union: a country level IPAT analysis from 1990 to 2010. *Energy* 59, 743–753.
- Cansino, J., Moreno, R., 2017. Does forest matter regarding Chilean CO<sub>2</sub> international abatement commitments? A multilevel decomposition approach. *Carbon Management* DOI: 10.1080/17583004.2017.1409027
- Cansino, J., Sánchez-Braza, A., Rodríguez-Arévalo, M., 2015. Driving forces of Spain's CO<sub>2</sub> emissions: A LMDI decomposition approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48, 749-759.
- Climent, F., Pardo, A., 2007. Decoupling factors on the energy-output linkage: the Spanish case. *Energy Policy* 35(1), 522-528.

- Colinet, M.J., Román, R., 2016. LMDI decomposition analysis of energy consumption in Andalusia (Spain) during 2003–2012: the energy efficiency policy implications. *Energy Efficiency* 9 (3), 807–823.
- Commoner, B., Corr, M., Stamler, P., 1971. *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. Knopf Doubleday Publishing Group, New York.
- De Bruyn, S. M., 2000. *Economic growth and the environment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- De Freitas, L.C., Kaneko, S., 2011. Decomposing the decoupling of CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics* 70(8), 1459–1469.
- Diakoulaki, D., Mandaraka, M., 2007. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO<sub>2</sub> emissions in the EU manufacturing sector. *Energy Economics* 29, 636–664.
- Directiva 2006/32/ce del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
- Dong, B., Zhang, M., Mu, H., Su, X., 2016. Study on decoupling analysis between energy consumption and economic growth in Liaoning Province. *Energy Policy* 97, 414–420.
- dos Santos Gaspar, J., Cardoso, A., Fuinhas, J., 2017. The traditional energy-growth nexus: A comparison between sustainable development and economic growth approaches. *Ecological Indicators* 75, 286–296.
- Eurostat, 2017. *Balances energéticos actualizados a 2017*.
- Fernández, P., 2015. Exploring energy efficiency in several European countries. An attribution analysis of the Divisia structural change index. *Applied Energy* 137, 364–374.
- Fernández, P., Pérez, R., 2003. Decomposing the variation of aggregate electricity intensity in Spanish industry. *Energy* 28(2), 171–184.
- Fuinhas, J., Cardoso, A., 2012. Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965–2009). *Energy Economics* 34(2), 511–517.
- García-Gusano, D., Suárez-Botero, J., Dufour, J., 2018. Long-term modelling and assessment of the energy-economy decoupling in Spain. *Energy* 151, 455–466.

- González, P., Moreno, B., 2015. Analyzing driving forces behind changes in energy vulnerability of Spanish electricity generation through a Divisia index-based method. *Energy Conversion and Management* 92, 459-468.
- Guerra, A., Sancho, S., 2010. An analysis of primary energy requirements and emission levels using the structural decomposition approach. In: Llop, Maria (Ed.), *Air Pollution: Economic Modeling and Control Policies*. Bentham Ebooks, London, pp. 2010. ([http://works.bepress.com/ana-isabel\\_guerra/3](http://works.bepress.com/ana-isabel_guerra/3))
- Hoekstra, R., Van Den Bergh, J., 2003. Comparing structural and index decomposition analysis. *Energy Economics* 25, 39–64.
- INE, 2018a. Instituto Nacional de Estadística. Contabilidad nacional anual de España. [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736165950&menu=resultados&idp=1254735576581](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736165950&menu=resultados&idp=1254735576581)
- INE, 2018b. Instituto Nacional de Estadística. Cifras de población y Censos demográficos. [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica\\_P&cid=1254735572981](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735572981)
- Jiang, X-T., Dong, J-F., Wang, X-M., Li, R-R., 2016. The Multilevel Index Decomposition of Energy-Related Carbon Emission and Its Decoupling with Economic Growth in USA. *Sustainability* 8, 1-16.
- Kaya, Y., 1990. 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, Paris.
- Lu, Q., Yang, H., Huang, X., Chuai, X., Wu, C., 2015. Multi-sectoral decomposition in decoupling industrial growth from carbon emissions in the developed Jiangsu Province, China. *Energy* 82, 414–425.
- ME, 2003. Ministerio de Economía. Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Aprobado por el Consejo de Ministros español el 28 de noviembre de 2003.
- Mendiluce, M., 2007. Cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España. *Ekonomiaz* 65, 362–385.
- Mendiluce, M., 2012. Los determinantes del consumo energético en España: ¿se ha mejorado la eficiencia energética? *Papeles de Economía Española* 134, 196–210, (ISSN: 0210-9107).
- Mendiluce, M., 2013. Los determinantes del consumo energético en España: ¿se ha mejorado la eficiencia energética? Monográfico sobre Energía. *Papeles de Economía Española (FUNCAS)*.

- Mendiluce, M., Pérez Suárez-Arriaga, I., Ocaña, C., 2010. Comparison of the Evolution of Energy Intensity in Spain and in the EU15. Why is Spain Different? *Energy Policy* 38(1), 639–645.
- MIET, 2014. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020. Aprobado por acuerdo de Consejo de Ministros en abril de 2014.
- MITC, 2005a. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Acción 2005-2007 para la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética. Aprobado por acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 6 de julio de 2007
- MITC, 2005b. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Energías Renovables 2005–2010.
- MITC, 2007. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Acción 2008-2012 para la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética. Aprobado por acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 20 de julio de 2007.
- MITC, 2010. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011–2020.
- MITC, 2011. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011- 2020. Aprobado por acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 29 de julio de 2011.
- Ozturk, I., 2010. A literature survey on energy–growth nexus. *Energy Policy* 38 (1), 340–349.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Velázquez, D., 2013. Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency* 6(2), 239-254.
- Ren, S., Hu, Z., 2012. Effects of decoupling of carbon dioxide emission by Chinese nonferrous metals industry. *Energy Policy* 43, 407–414.
- Ren, S., Yin, H., Chen, X., 2014. Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions by China's manufacturing industry. *Environmental Development* 9, 61-75.
- Roinioti, A., Koroneos, C., 2017. The decomposition of CO<sub>2</sub> emissions from energy use in Greece before and during the economic crisis and their decoupling from economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76, 448-459.
- Román, R., Cansino J., Botia C., 2018. How far is Colombia from decoupling? Two-level decomposition analysis of energy consumption changes. *Energy* 148, 687-700.
- Román, R., Colinet, M., 2018. Is energy efficiency a driver or an inhibitor of energy consumption changes in Spain? Two decomposition approaches. *Energy Policy* 115, 409-417.



- Román, R., Sanz, M., 2017. Analysis of energy end-use efficiency policy in Spain. *Energy Policy* 101, 436-446.
- Schnapp, R., 2012. Energy statistics for energy efficiency indicators. Joint Rosstat—IEA Energy Statistics Workshop. Moscow, February 2012. Recuperado de <http://www.iea.org/media/workshops/2012/trainingmoscow/Session8Schnapp.pdf>
- Su, B., Ang, B.W., 2012. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: some methodological developments. *Energy Economics* 34, 177–188.
- Tapio, P., 2005. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy* 12, 137-151.
- Tiba, S., Omri, A., 2017. Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 1129-1146.
- Vehmas, J., Luukkanen, J., Kaivo-oja, J., 2007. Linking analyses and environmental Kuznets curves for material flows in the European Union 1980–2000. *Journal of Cleaner Production* 15, 1662–1673.
- Wang, H., Ang, B., Su, B., 2017. Multiplicative structural decomposition analysis of energy and emission intensities: Some methodological issues. *Energy* 123, 47-63.
- Wang, Q., Jiang, X., Li, R., 2017. Comparative decoupling analysis of energy-related carbon emission from electric output of electricity sector in Shandong Province, China. *Energy* 127, 78-88.
- Wang, W., Liu, R., Zhang, M., Li, H., 2013. Decomposing the decoupling of energy-related CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Jiangsu Province. *Energy for Sustainable Development* 17(1), 62-71.
- Yamaji, K., Matsushashi, R., Nagata, Y., Kaya, Y., 1991. An Integrated System for CO<sub>2</sub>/Energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO<sub>2</sub> Reduction in Japan. Presented at the Workshop on CO<sub>2</sub> Reduction and Removal: Measures for the Next Century. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- York, R., Rosa, E., Dietz, T., 2002. Bridging environmental science with environmental policy: Plasticity of population, affluence, and technology. *Social Science Quarterly* 83(1), 18-34.
- Zhang, M., Bai, C., Zhou, M., 2018. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling relationship between coal consumption and economic growth in China. *Resources, Conservation and Recycling* 129, 454-462.
- Zhang, M., Guo, F.Y., 2013. Analysis of rural residential commercial energy consumption in China. *Energy* 52, 222–229.

- Zhang, M., Liu, X., Wang, W.W., Zhou, M., 2013. Decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emissions from electricity generation in China. *Energy Policy* 52, 159–165.
- Zhang, M., Wang, W., 2013. Decouple indicators on the CO<sub>2</sub> emission-economic growth linkage: The Jiangsu Province case. *Ecological Indicators* 32, 239-244.
- Zhao, X., Zhang, X., Li, N., Shao, S., Geng, Y., 2017. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: A sectoral factor decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production* 142, 3500-3516.
- Zhao, X., Zhang, X., Shao, S., 2016. Decoupling CO<sub>2</sub> emissions and industrial growth in China over 1993–2013: The role of investment. *Energy Economics* 60, 275-292.

## ANEXOS

**Tabla A.1.** Correspondencia de sectores productivos entre el Balance Energético y el VAB

Sectores Agregados		Sectores Balance energético	Sectores Valor Añadido Bruto	
<b>Agricultura, silvicultura y pesca</b>		Agricultura/Silvicultura	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	
		Pesca		
<b>Industria</b>	<b>Minas y canteras</b>	Minas y Canteras	Industrias extractivas	
	<b>Alimentación, bebidas y tabaco</b>	Alimentación y Tabaco	Industrias de la alimentación, fabricación de bebidas e industria del tabaco	
	<b>Textil, calzado y cuero</b>	Textil y cuero	Industria textil, confección de prendas de vestir e industria del cuero y del calzado	
	<b>Madera y productos de madera</b>	Madera y productos de madera		Industria de la madera y el corcho
				Fabricación de muebles, otras industrias manufactureras
	<b>Papel, pasta e impresión</b>	Papel, pasta e impresión		Industria del papel
				Artes gráficas y reproducción de soportes grabados
	<b>Química y petroquímica</b>	Industria química y petroquímica		Industria química
				Fabricación de productos farmacéuticos
	<b>Minerales no metálicos</b>	Minerales no metálicos (vidrio, cerámica y materiales de la industria de la construcción)		Fabricación de productos de caucho y plástico
	<b>Metales no ferrosos</b>	Industria de metales no ferrosos		Fabricación de otros productos minerales no metálicos
	<b>Siderurgia</b>	Industria siderúrgica		Metalurgia, fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones
				Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
	<b>Maquinaria</b>	Maquinaria		Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.
Reparación e instalación de maquinaria y equipo				
<b>Equipo de transporte</b>	Equipo de transporte		Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	
			Fabricación de otro material de transporte	
<b>Construcción</b>	Construcción		Construcción	
<b>Industria no especificada</b>	Industria no especificada		Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	
			Fabricación de material y material eléctrico	
<b>Sector de la Transformación</b>		Transformación de inputs <sup>(a)</sup>	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	
		Refinerías	Coquerías y refino de petróleo	
<b>Transporte <sup>(b)</sup></b>		Transporte	Transporte	
<b>Servicios</b>	Servicios		Suministro de agua; actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	
			Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas	
			Actividades postales y de correos	
			Hostelería	
			Información y comunicaciones	
			Actividades financieras y de seguros	
			Actividades inmobiliarias	

		Actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades administrativas y servicios auxiliares
		Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria; educación; actividades sanitarias y de servicios sociales
		Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento
		Otros servicios
<b>Residencial</b>	Residencial	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico o como productores de bienes y servicios para uso propio

(<sup>a</sup>) Incluye: energía térmica convencional, energía nuclear, coque-hornos, hornos altos, trabajos de gas, plantas de calefacción urbana, plantas de combustible, plantas BKB / PB, plantas de licuefacción de carbón, gas natural mezclado, plantas de producción de carbón vegetal, plantas de gas a líquidos, transformación no especificada.

(<sup>b</sup>) Incluye: transporte terrestre y por tuberías, marítimo, aéreo; así como, almacenamiento y actividades anexas a los transportes.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A.2.** Tipo de fuentes energéticas utilizadas para la descomposición a nivel sectorial

Sectores	Combustibles sólidos	Petróleo	Gas	Renovables	Residuos (no renovables)	Nuclear	Electricidad
<b>Agricultura, silvicultura y pesca</b>		x	x	x			x
<b>Industria</b>	x	x	x	x			x
<b>Sector de la transformación</b>	x	x	x	x	x	x	
<b>Transporte</b>		x	x	x			x
<b>Servicios</b>	x	x	x	x			x
<b>Residencial</b>	x	x	x	x			x

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A.3.** Efectos de la descomposición LMDI aditivo a nivel sectorial (kilo toneladas equivalentes de petróleo)

Sectores	Efecto	2000-2005	2005-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
<b>Agricultura, silvicultura y pesca</b>	ΔP	189,47	187,25	8,86	8,25	-5,37	-13,00	-3,41
	Δe	5,04	-5,76	2,31	0,27	0,01	-0,03	-10,13
	ΔI	878,39	-1.083,71	59,55	572,09	-216,30	-48,00	-206,12
	ΔS	-791,88	52,45	112,60	-185,60	393,36	-68,70	-140,41
	ΔA	255,28	-20,35	-22,24	-82,35	-34,27	47,78	81,83
	ΔTotal	536,30	-870,12	161,08	312,65	137,43	-81,95	-278,26
<b>Industria</b>	ΔP	1.891,55	1.839,32	82,93	67,99	-40,10	-94,36	-26,17
	Δe	13,01	-19,21	-0,06	-0,82	0,03	-0,18	-2,02
	ΔI	2.203,67	-6.011,19	1.225,54	738,48	792,36	-1.171,39	-1.891,27
	ΔS	-1.056,89	-5.140,43	-1.178,36	-723,44	-470,57	125,10	200,93
	ΔA	2.548,52	-199,89	-208,05	-679,01	-255,81	346,96	627,60
	ΔTotal	5.599,86	-9.531,41	-78,01	-596,80	25,91	-793,88	-1.090,93
<b>Sector de la Transformación</b>	ΔP	7.399,58	7.625,38	397,47	344,65	-204,93	-472,65	-143,38
	Δe	63,36	-118,67	2,07	6,56	-8,88	-0,04	-4,03
	ΔI	-12.891,42	-34.571,10	-3.014,85	13.149,15	14.484,67	-2.123,23	-9.531,67
	ΔS	3.670,55	15.447,47	4.705,59	-3.017,13	-21.029,71	736,14	14.798,49
	ΔA	9.969,62	-828,70	-997,20	-3.441,84	-1.307,40	1.737,89	3.438,70
	ΔTotal	8.211,69	-12.445,61	1.093,08	7.041,39	-8.066,26	-121,88	8.558,11
<b>Transporte</b>	ΔP	2.461,43	2.724,91	141,88	112,00	-62,73	-147,52	-44,14
	Δe	3,59	-16,03	-0,32	-1,24	-3,81	0,01	1,30
	ΔI	7.216,05	-3.376,58	-1.798,77	-2.024,17	317,35	-1.024,42	147,13
	ΔS	-6.283,37	-1.787,93	858,07	343,26	-1.414,16	833,32	443,18

	ΔA	3.316,34	-296,13	-355,97	-1.118,45	-400,18	542,41	1.058,70
	ΔTotal	6.714,05	-2.751,77	-1.155,11	-2.688,59	-1.563,53	203,81	1.606,17
<b>Servicios</b>	ΔP	507,55	641,94	38,65	32,71	-18,98	-42,67	-12,64
	Δe	2,47	9,01	1,14	-0,02	-0,07	-0,21	6,14
	ΔI	204,93	159,98	335,25	-11,56	-404,00	-861,55	952,89
	ΔS	306,21	641,31	127,79	148,09	113,24	-21,97	-60,12
	ΔA	683,84	-69,76	-96,97	-326,66	-121,07	156,88	303,10
	ΔTotal	1.705,00	1.382,46	405,87	-157,45	-430,88	-769,51	1.189,38
<b>Residencial</b>	ΔP	909,25	1.134,14	62,99	50,33	-29,35	-68,45	-19,93
	Δe	8,25	6,36	-1,13	-0,01	-0,08	0,00	0,03
	ΔI	-415,76	-272,36	-731,05	1.369,44	144,77	-161,28	-28,12
	ΔS	1.405,27	1.042,84	-465,40	-1.019,25	-571,12	-194,69	-263,01
	ΔA	1.225,05	-123,25	-158,05	-502,59	-187,26	251,69	477,98
	ΔTotal	3.132,06	1.787,74	-1.292,63	-102,08	-643,04	-172,73	166,95

**Fuente:** Elaboración propia