



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

LA METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES. APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA DE 2008 EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y DE EMISIONES EN ESPAÑA

Autor: Mario Ginel Pérez
Director: Pedro Linares Llamas

Madrid
Agosto 2018

**LA METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES. APLICACIÓN AL ANALISIS
DEL IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y DE
EMISIONES EN ESPAÑA**



Mario
Ginel
Pérez

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Mario Ginel Pérez, DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “La metodología de descomposición de índices. Aplicación al análisis del impacto de la crisis económica de 2008 en la intensidad energética y de emisiones en España”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 30 de Agosto de 2018

ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
La metodología de descomposición de índices. Aplicación al análisis del impacto de la crisis económica de 2008 en la intensidad energética y de emisiones en España en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Mario Ginel Pérez

Fecha: 04/ 09/ 2018



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Pedro Linares Llamas

Fecha: 04/ 09/ 2018



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

LA METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES. APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA DE 2008 EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y DE EMISIONES EN ESPAÑA

Autor: Mario Ginel Pérez
Director: Pedro Linares Llamas

Madrid
Agosto 2018

**LA METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES. APLICACIÓN AL ANÁLISIS
DEL IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y DE
EMISIONES EN ESPAÑA**



Mario
Ginel
Pérez



LA METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES. APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CRISIS ECONÓMICA DE 2008 EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y DE EMISIONES EN ESPAÑA

Autor: Ginel Pérez, Mario.

Director: Linares Llamas, Pedro.

Entidad colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

Resumen del proyecto

INTRODUCCIÓN

La intensidad energética es empleada con frecuencia como indicador de la eficiencia energética de un país debido principalmente a la facilidad para obtener los datos necesarios, ya que constituyen la relación entre la oferta total de energía primaria dividida por el producto interior bruto (PIB) del país. Sin embargo, aunque a menudo se cite la intensidad energética como representativa de la eficiencia energética, se trata de un error, ya que un país de baja intensidad energética no necesariamente goza de una buena eficiencia. Por ejemplo, un pequeño país prestador de servicios y con un clima templado (Singapur), sin duda tendría una intensidad mucho menor a la de un gran país industrializado y con temperaturas muy bajas (Noruega), aún si este último utilizara la energía de forma más eficiente que el primero, dificultando la comparación entre países.

De la misma forma, la evolución de la intensidad energética puede verse afectada por diversos factores como la estructura de la economía (sectores menos electro intensivos), mejoras en procesos y avances tecnológicos (energéticamente más eficientes), los combustibles empleados y su precio (existe una alta dependencia de los combustibles fósiles), el efecto saturación, las preferencias o la distribución de la población o incluso el clima. Por otro lado, existe una estrecha relación entre la intensidad energética y la intensidad de emisiones que depende de las fuentes energéticas empleadas para abastecer el consumo energético.

Como el concepto de la IE es tan amplio e incluye tantos factores con efectos contrarios (actividad y estructura económica, eficiencia energética de multitud de sectores,



tecnologías de generación de electricidad, precios, etc.) no se pueden sacar conclusiones definitivas observando solo las tendencias de las series temporales de las grandes magnitudes agregadas, es necesario introducir análisis econométricos y/o matemáticos.

METODOLOGÍA

Para analizar cómo estos factores han afectado a la evolución de la intensidad energética y la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España se ha analizado el impacto que han tenido los sectores productivos en el indicador agregado de la intensidad energética final y la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, el análisis abarca todos los consumos energéticos en España incluyendo el sector transformación que representa un 30% del consumo nacional. Una de las razones de este análisis ampliado es, por ejemplo, que la sustitución de combustibles tradicionales por electricidad en los procesos productivos supone una mejora en la eficiencia energética en dicho sector pero que son absorbidas por el sector de la producción energética.

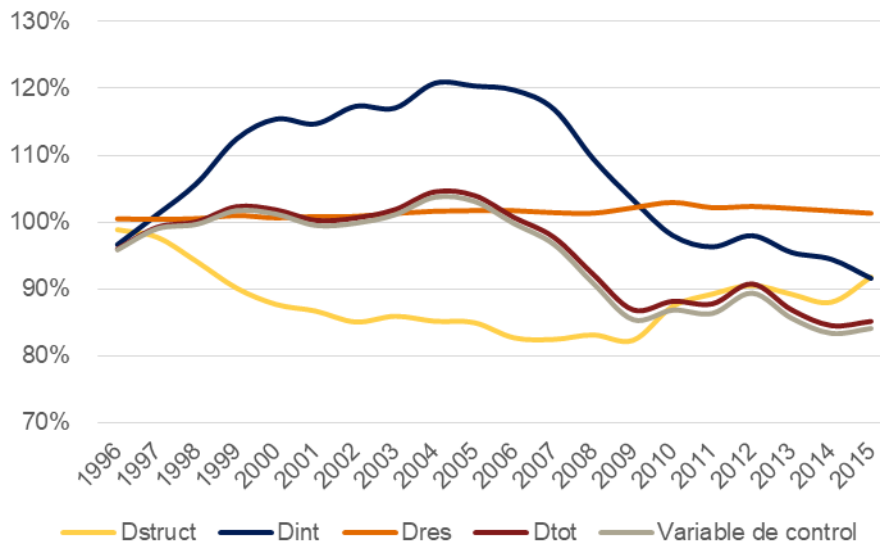
El análisis se ha realizado empleando un método de descomposición de índices, concretamente LMDI debido a su descomposición perfecta (sin residuo), su facilidad para expresar las componentes tanto en forma multiplicativa o aditiva y la agregación de factores.

RESULTADOS

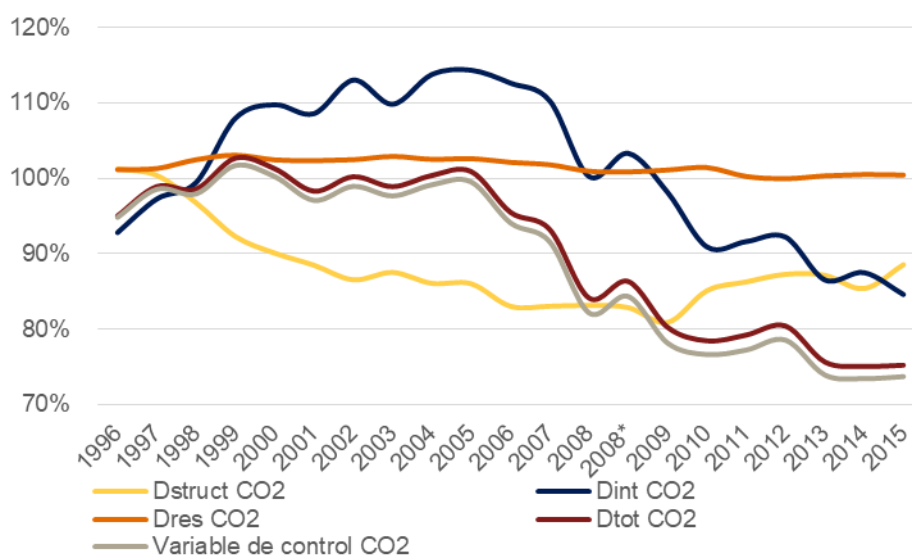
Inicialmente, en términos de magnitudes agregadas, la aplicación de las teorías de desmaterialización a España y los países de su entorno económico ha demostrado que, aunque en los últimos años el desarrollo de la intensidad energética de la mayoría de países ha evolucionado en línea con estas teorías creciendo de una forma más energéticamente eficiente, el desarrollo de la intensidad energética como indicador agregado en España es una excepción hasta poco antes de la crisis económica de 2008.



A la hora de estudiar en profundidad la tendencia llevada por la intensidad energética en España, la aplicación de la descomposición de índices a la intensidad energética ha arrojado los siguientes resultados:



De la misma forma, la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, estrechamente relacionada con la intensidad energética, ha mostrado los siguientes resultados:



El impacto que ha tenido cada sector en los indicadores agregados de España de intensidad energética e intensidad de emisiones para los periodos previos y posteriores a la coyuntura económica pueden verse resumidos en la siguiente tabla:



Sector	1995-2007		2007-2015	
	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)
<i>Industrias extractivas</i>	(0,1%)	(0,5%)	0,1%	(0,4%)
<i>Alimentación y tabaco</i>	(0,6%)	(0,2%)	0,0%	(0,2%)
<i>Textil y cuero</i>	(0,7%)	(0,1%)	(0,2%)	(0,4%)
<i>Papel y artes gráficas</i>	0,2%	(0,1%)	(0,5%)	(0,3%)
<i>Industria química y petroquímica</i>	(0,7%)	(0,9%)	(1,1%)	0,3%
<i>Minerales no metálicos</i>	0,3%	(1,3%)	(2,5%)	(5,6%)
<i>Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos</i>	(1,3%)	(0,6%)	(0,7%)	(0,7%)
<i>Maquinaria</i>	0,1%	(0,0%)	(0,2%)	0,2%
<i>Equipos de transporte</i>	(0,1%)	(0,1%)	(0,2%)	(0,2%)
<i>Industria de la madera y derivados</i>	0,3%	(0,0%)	(0,2%)	(0,0%)
<i>Sin especificar</i>	(0,2%)	(0,0%)	(1,0%)	(0,1%)
Industria(Sin construcción)	(2,7%)	(3,8%)	(6,5%)	(7,2%)
Construcción	0,1%	0,1%	0,4%	(1,2%)
Agricultura y pesca	(0,3%)	(3,5%)	(0,3%)	(1,4%)
Transporte	1,7%	0,8%	(6,0%)	0,4%
Servicios	1,6%	(0,1%)	1,3%	(1,6%)
Residencial	1,4%	1,8%	(0,1%)	(1,3%)
Produccion energética	(3,9%)	(2,1%)	(2,2%)	(8,4%)
Total	(2,3%)	(6,8%)	(12,9%)	(19,3%)

CONCLUSIONES

El análisis llevado a cabo muestra que la intensidad energética en España se redujo ligeramente (-2,3%) entre 1995 y 2007 pero motivado por cambios estructurales en la economía, donde el sector del transporte y la producción energética, dos de los sectores con mayores intensidades energéticas vieron reducido su porcentaje de participación. El sector de la metalurgia, la siderurgia y la industria química redujeron su aportación a la intensidad energética en este periodo explicado por la sustitución de carbón y derivados del petróleo por electricidad y gas en sus procesos productivos, transmitiendo parte de la reducción al sector energético que aumento su componente sectorial. El sector de los minerales no metálicos, estrechamente ligado con la construcción, aumento su aportación a la intensidad energética explicada por el aumento de la demanda que experimentó este sector hasta la coyuntura económica. El aumento de la población y el poder adquisitivo de los españoles motivó un aumento del transporte privado y un aumento del equipamiento domestico que incremento la aportación al indicador agregado de sectores como el transporte o el residencial.



La intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, siguió una trayectoria muy similar (-6,8%) a la intensidad energética hasta 2007. Dicha reducción se debió a una reducción de la componente estructural de los sectores más intensivos como los minerales no metálicos, la agricultura o la producción energética mientras que incrementaron su aportación sectorial al indicador agregado de la intensidad de emisiones. El sector residencial incrementó su componente como resultado de mayores ingresos de los hogares españoles derivando en un incremento del equipamiento doméstico y del uso del vehículo privado para los desplazamientos.

Sin embargo, entre 2007 y 2015, la evolución tanto de la intensidad energética final como de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero revertió la tendencia seguida antes del inicio de la crisis económica y redujo ambas intensidades (-12,9% y -19,3% respectivamente). En el ámbito de la intensidad energética final, el sector transformador incrementó su componente estructural debido al aumento de la inversión en el sector de las renovables motivado por los incentivos a estas, que a su vez redujeron su componente sectorial al incrementar su presencia en el mix energético. Por otro lado el aumento de las exportaciones incrementó la componente estructural del sector del transporte. A su vez, la industria redujo su componente estructural debido al impacto que tuvo la crisis en los minerales no ferrosos mientras que al igual que antes de la crisis, la metalurgia y el sector químico mejoraron su componente sectorial mediante la electrificación de sus procesos productivos.

Pero en el futuro, la penetración del vehículo eléctrico tendrá un papel clave para reducir la intensidad energética de España si se logra una penetración de las renovables en el sector de la producción energética, porque si no, esa reducción simplemente se transferiría de sector. Además, sumado al hecho de que el sector de la infraestructura en España ya está bastante desarrollado, el consumo de los sectores electro intensivos relacionados con este verán reducida su intensidad energética ya que será destinado al mantenimiento y el desarrollo y no a la construcción de este. Por último, el hecho de que España se sitúa en un clima templado limitara las mejoras en eficiencia energética del equipamiento relacionado con la climatización en los sectores residencial y servicios.



INDEX DECOMPOSITION METHODOLOGY. AN APPLICATION
TO THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE 2008 ECONOMIC
CRISIS IN THE ENERGY AND EMISSIONS INTENSITY
INDICATORS IN SPAIN

INTRODUCTION

Energy intensity is often used as an indicator of a country energy efficiency due mainly to the ease of obtaining the necessary data, since they constitute the relationship between the total supply of primary energy divided by the gross domestic product (GDP) of the country. However, although energy intensity is often cited as representative of energy efficiency, it is an error, since a country of low energy intensity does not necessarily enjoy good efficiency. For example, a small country providing services and with a temperate climate (Singapore), it would undoubtedly have a much lower intensity than that of a large industrialized country with very low temperatures (Norway), even if the latter will use energy more efficiently than the first one, making comparison difficult between countries.

In the same way, the evolution of energy intensity can be affected by various factors such as the structure of the economy (less electro-intensive sectors), improvements in processes and technological advances (energy more efficient), the fuels used and their price (there is a high dependence on fossil fuels), the saturation effect, the preferences or the distribution of the population or even the climate. On the other hand, there is a close relationship between energy intensity and the intensity of emissions that depends on the energy sources used to supply energy consumption.

Since the concept of energy intensity is so broad and includes so many factors with opposite effects (activity and economic structure, energy efficiency of many sectors, electricity generation technologies, prices, etc.), definitive conclusions can not be drawn from observing only the trends of the time series of the large aggregate magnitudes, it is necessary to introduce econometric and / or mathematical analyzes.



METHODOLOGY

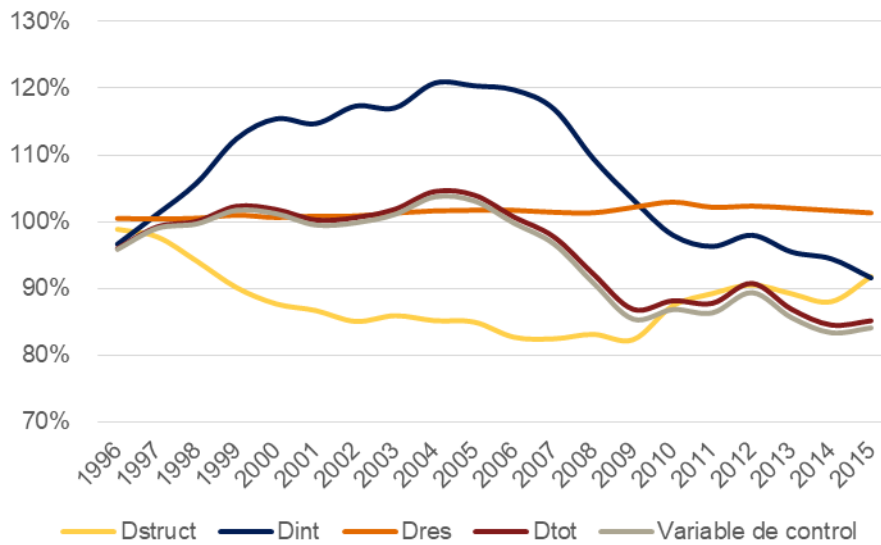
In order to analyze how these factors have affected the evolution of energy intensity and the intensity of greenhouse gas emissions in Spain, the impact that the productive sectors have had on the aggregate indicators has been analysed. That is, the analysis covers all energy consumption in Spain including the transformation sector that represents 30% of national consumption. One of the reasons for this extended analysis is, for example, that the replacement of traditional fuels with electricity in the production processes implies an improvement in energy efficiency in that sector but that is absorbed by the energy production sector.

The analysis has been done using a method of index decomposition, specifically LMDI due to its perfect decomposition (no residue), its ability to express the components in a multiplicative or additive way and the aggregation of factors.

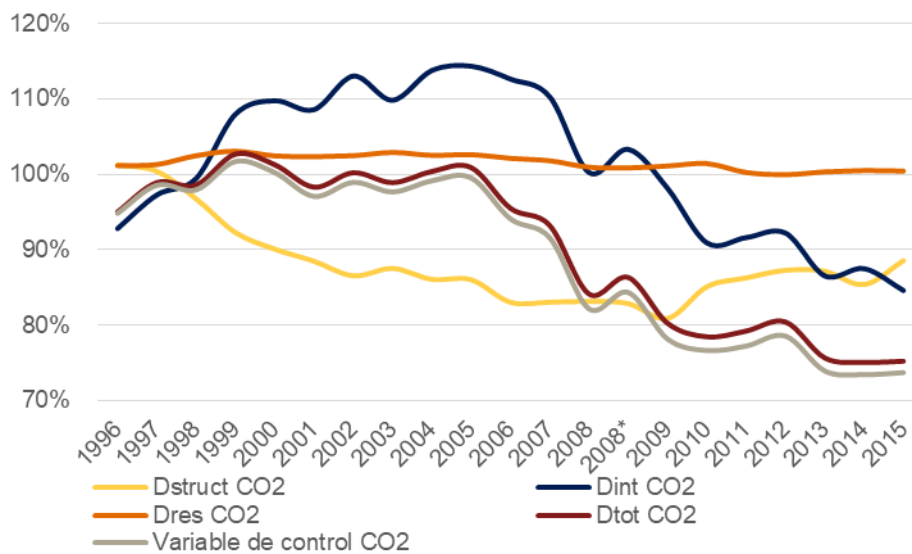
RESULTS

Initially, in terms of aggregate magnitudes, the application of dematerialization theories to Spain and the countries of its economic environment has shown that, although in recent years the development of energy intensity in most countries has evolved in line with these Theories growing in a more energy efficient way, the development of energy intensity as an aggregate indicator in Spain is an exception until shortly before the economic crisis of 2008.

If a decomposition of the trend driven by energy intensity in Spain is made, the application of the decomposition of indices to energy intensity has yielded the following results:



In the same way, the intensity of greenhouse gas emissions, closely related to energy intensity, has shown the following results:



The impact that each sector has had on the aggregate indicators of Spain of energy intensity and emission intensity for the periods before and after the economic conjuncture can be summarized in the following table:



Sector	1995-2007		2007-2015	
	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)
<i>Industrias extractivas</i>	(0,1%)	(0,5%)	0,1%	(0,4%)
<i>Alimentación y tabaco</i>	(0,6%)	(0,2%)	0,0%	(0,2%)
<i>Textil y cuero</i>	(0,7%)	(0,1%)	(0,2%)	(0,4%)
<i>Papel y artes gráficas</i>	0,2%	(0,1%)	(0,5%)	(0,3%)
<i>Industria química y petroquímica</i>	(0,7%)	(0,9%)	(1,1%)	0,3%
<i>Minerales no metálicos</i>	0,3%	(1,3%)	(2,5%)	(5,6%)
<i>Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos</i>	(1,3%)	(0,6%)	(0,7%)	(0,7%)
<i>Maquinaria</i>	0,1%	(0,0%)	(0,2%)	0,2%
<i>Equipos de transporte</i>	(0,1%)	(0,1%)	(0,2%)	(0,2%)
<i>Industria de la madera y derivados</i>	0,3%	(0,0%)	(0,2%)	(0,0%)
<i>Sin especificar</i>	(0,2%)	(0,0%)	(1,0%)	(0,1%)
Industria(Sin construcción)	(2,7%)	(3,8%)	(6,5%)	(7,2%)
Construcción	0,1%	0,1%	0,4%	(1,2%)
Agricultura y pesca	(0,3%)	(3,5%)	(0,3%)	(1,4%)
Transporte	1,7%	0,8%	(6,0%)	0,4%
Servicios	1,6%	(0,1%)	1,3%	(1,6%)
Residencial	1,4%	1,8%	(0,1%)	(1,3%)
Produccion energética	(3,9%)	(2,1%)	(2,2%)	(8,4%)
Total	(2,3%)	(6,8%)	(12,9%)	(19,3%)

CONCLUSIONS

The analysis carried out shows that the energy intensity in Spain decreased slightly (-2.3%) between 1995 and 2007, but motivated by structural changes in the economy, where the transport sector and energy production, two of the sectors with Higher energy intensities saw their percentage of participation reduced. The metallurgy sector, the steel industry and the chemical industry reduced their contribution to energy intensity in this period, explained by the substitution of coal and oil derivatives for electricity and gas in their production processes, transmitting part of the reduction to the energy sector that increase its sectoral component. The sector of non-metallic minerals, closely linked to construction, increased its contribution to energy intensity, explained by the increase in demand that this sector experienced up to the economic situation. The increase in the population and the purchasing power of Spaniards led to an increase in private transport and an increase in domestic equipment that increased the contribution to the aggregate indicator of sectors such as transport or residential.



The intensity of greenhouse gas emissions followed a very similar path (-6.8%) to the energy intensity until 2007. This reduction was due to a reduction in the structural component of the more intensive sectors such as non-metallic minerals, agriculture or energy production while they increased their sector contribution to the aggregate indicator of the intensity of emissions. The residential sector increased its component as a result of higher income of Spanish households, resulting in an increase in domestic equipment and the use of private vehicles for travelling.

However, between 2007 and 2015, the evolution of both the final energy intensity and the intensity of greenhouse gas emissions reversed the trend followed before the start of the economic crisis and reduced both intensities (-12.9% and -19.3% respectively). Regarding final energy intensity, the transforming sector increased its structural component due to the increase in investment in the renewable sector motivated by the incentives to these, which in turn reduced their sectoral component by increasing its presence in the energy mix. On the other hand, the increase in exports increased the structural component of the transport sector. In turn, the industry reduced its structural component due to the impact of the crisis on non-ferrous minerals, while as before the crisis, metallurgy and the chemical sector improved their sector component through the electrification of their production processes.

But in the future, the entry of the electric vehicle will play a key role in reducing the energy intensity of Spain if the presence of the renewable energy sector is increased in the energy production sector. Because otherwise, that reduction would simply be transferred from one sector to the other. In addition, added to the fact that the infrastructure sector in Spain is already well developed, the consumption of the electro-intensive sectors related to it will be reduced in energy intensity since it will be used for maintenance and development and not for construction. Finally, the fact that Spain is located in a temperate climate will limit the improvements in energy efficiency of the equipment related to air conditioning in the residential and services sectors.



Índice de la memoria

<i>Memoria</i>	5
<i>Capítulo 1</i>	<i>Introducción</i> 6
1.1	Introducción a la intensidad energética como indicador de eficiencia energética 6
1.2	Motivación y objetivos del proyecto 10
1.3	Recursos empleados y metodología..... 12
<i>Capítulo 2</i>	<i>La intensidad energética</i> 14
2.1	El proceso de desmaterialización de los países desarrollados 14
2.2	El proceso de desmaterialización de España..... 20
2.3	¿Qué factores influyen en la intensidad energética? 23
<i>Capítulo 3</i>	<i>Metodología de descomposición de índices</i> 32
3.1	Introducción..... 32
3.2	Definición de variables 35
3.3	Evolución de la descomposición basada en índices..... 36
3.3.1	Métodos tradicionales imperfectos..... 36
3.3.2	Métodos tradicionales perfectos 38
3.3.3	Métodos Divisia 40
3.4	Formulación metodológica 45
<i>Capítulo 4</i>	<i>Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España</i>
	47
4.1	Fuentes estadísticas empleadas 47
4.2	Descomposición de la intensidad energética en España..... 54



4.3	Descomposición de la intensidad de emisiones en España.....	64
Capítulo 5	Conclusiones.....	74
5.1	Conclusiones.....	74
5.2	Estudio económico.....	77
5.3	Futuros desarrollos.....	77
	<i>Bibliografía</i>	79
	<i>Anexo I - Categorías NACE.....</i>	81
	<i>Anexo II – Porcentajes de participación de los sectores productivos.....</i>	85
	<i>ANEXO III – Descomposición de índices de la intensidad energética por sectores</i>	86
	<i>ANEXO IV – Descomposición de índices de la intensidad de emisiones por sectores</i>	90



Índice de figuras

Ilustración 1. Participaciones de la energía final, el consumo del sector energético y los consumos no energéticos respecto a la energía primaria en España.	7
Ilustración 2. Consumo energético frente al producto interior bruto para los países de la OCDE entre 1960 y 2015.	8
Ilustración 3. Consumo energético frente a al producto interior bruto para España entre 1960 y 2015	8
Ilustración 4. Participaciones de los sectores industrial, residencial y transporte en	11
Ilustración 5. Variación de la intensidad energética final en los países de la OCDE entre 1971 y 2014.	15
Ilustración 6. Comparativa entre el precio medio del barril de petróleo ajustado y no ajustado a la inflación entre 1946 y 2015.	16
Ilustración 7. Curva medio ambiental de Kuznets. Fuente Bernardini,1993.	17
Ilustración 8. Intensidad energética en función de la renta per cápita y el peso de los sectores en su economía. Fuente Medlock, 2001.	18
Ilustración 9. Modelo de consumo energético de un estado. Fuente Medlock, 2001.	18
Ilustración 10. Modelo de la intensidad energética de un estado. Fuente: Medlock, 2001	19
Ilustración 11. Variación de la intensidad energética final en los países de la OCDE entre 1970 y 2007	20
Ilustración 12. Peso de los sectores productivos en la economía española. Elaboración propia a partir de datos del INE.	22



Ilustración 13. Variación de la intensidad energética en los países de la OCDE entre 2007 y 2014	23
Ilustración 14. Balance nacional energético de España de 1995 a 2013. Elaboración propia a partir de datos de IEA.....	24
Ilustración 15. Consumo energético en España por tipo de combustible. Datos de IEA.	29
Ilustración 16. Clasificación de los métodos de descomposición de indicadores. 33	
Ilustración 17. Efecto de la descomposición Fuente: (Sun,1998)	39
Ilustración 18. Diferencia en VAB total (IPC vs Deflactor)	51
Ilustración 19. Comparación entre el VAB y la renta nacional disponible.	52
Ilustración 20. Descomposición de la intensidad energética total entre 1995 y 2015. Método Multiplicativo.....	55
Ilustración 21. Descomposición de la intensidad energética total como precios constantes en base de 1995.....	56
Ilustración 22. Descomposición de la intensidad energética total como precios constantes en base de 2015.....	56
Ilustración 23. Balance de energía primaria de 2007 por fuente energética de España (Fuente AIE).....	62
Ilustración 24. Balance de energía primaria de 2015 por fuente energética de España (Fuente AIE).....	62
Ilustración 25. Descomposición de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero.....	64
Ilustración 26. Descomposición de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en base a precios de 2015.....	66
Ilustración 28. Porcentaje de electricidad en el consumo de energía final.....	69
Ilustración 29. Emisiones de gases de efecto invernadero per cápita frente a la población en España.....	70
Ilustración 30. Desagregación de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España entre 2007 y 2015. (tCO ₂ eq/M€ en base 2015).....	71



Ilustración 31. Descomposición de la intensidad energética en España entre 1995 y 2015 suponiendo que el 60% del consumo del transporte es transporte privado.. 78



Índice de tablas

Tabla 1. Relación entre consumos energéticos y valores añadidos brutos. Elaboración propia.	50
Tabla 2. Variación del IPC en España.	51
Tabla 3. Factores de conversión de los gases de efecto invernadero.	53
Tabla 4. Desagregación de la intensidad energética en España entre 1995 y 2007 y 2015. (tep/M€ en base 2015).	58
Tabla 5. Desagregación de la intensidad energética en España entre 2007 y 2015. (tep/M€ en base 2015).	60
Tabla 6. Factores de eficiencia en la generación eléctrica.	63
Tabla 7. Porcentajes de participación de las emisiones de gases de efecto invernadero.	65
Tabla 8. Desagregación de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España entre 1995 y 2007 y 2015. (tCO ₂ eq/M€ en base 2015).	67



MEMORIA



Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN A LA INTENSIDAD ENERGÉTICA COMO INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

En septiembre de 2015, los países de las Naciones Unidas desarrollaron un plan de acción de cara a los próximos 15 años, dicho plan englobaba objetivos diversos que abarcaban desde la lucha contra la pobreza hasta la reducción del impacto del ser humano en la vida submarina. El objetivo número 7 de dicho plan hace referencia a la energía accesible y no contaminante, estableciendo objetivos en relación a la eficiencia energética, este es, doblar la tasa de mejora de esta para el año 2030. De acuerdo con esto, la ONU *“prepara cada año el informe, que se basa en un marco de indicadores mundiales elaborado por el Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”* (ONU, 2017) donde emplea la intensidad energética como referencia para medir la eficiencia energética.

De hecho, la intensidad energética es empleada con frecuencia como indicador de la eficiencia energética de un país debido principalmente a la facilidad para obtener los datos necesarios, ya que constituyen la relación entre la oferta total de energía primaria dividida por el producto interior bruto (PIB) del país. Sin embargo, aunque a menudo se cite la intensidad energética como representativa de la eficiencia energética, se trata de una medida limitada, ya que un país de baja intensidad energética no necesariamente goza de una buena eficiencia, por lo que se requiere un mayor análisis para alcanzar las conclusiones correctas. Por ejemplo, un pequeño país prestador de servicios y con un clima templado (Singapur), sin duda tendría una intensidad mucho menor a la de un gran país industrializado y con temperaturas muy bajas (Noruega), aún si este último utilizara la energía de forma más eficiente que el primero, dificultando la comparación entre países.

Pero, aunque los datos necesarios son de fácil obtención, este indicador puede variar en función de cómo se contabilice el consumo energético. Es decir, existen estudios que basan su análisis en la intensidad energética final (Agricultura, Industria,



Transporte, Servicios y Residencial) excluyendo así de su análisis los consumos de los sectores transformadores (en el caso de España, representan un consumo cercano al 30% de media que además ha sufrido importantes cambios en los últimos años tras los planes de incentivos a las energías renovables).

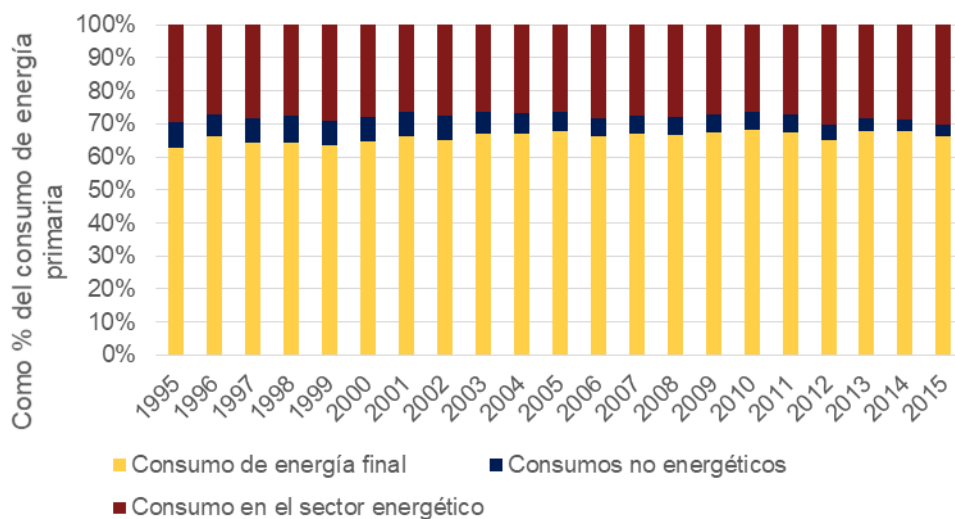


Ilustración 1. Participaciones de la energía final, el consumo del sector energético y los consumos no energéticos respecto a la energía primaria en España.

Tal y como se explicará más adelante mediante las teorías de desmaterialización, los países desarrollados han mostrado en los últimos años una tendencia similar en la evolución del consumo energético respecto al PIB, sin embargo, en el caso de España, esta tendencia ha sido distinta en los años previos a la crisis económica y financiera de 2008 y se ha acentuado incluso en los años posteriores como puede observarse en las ilustraciones 2 y 3:

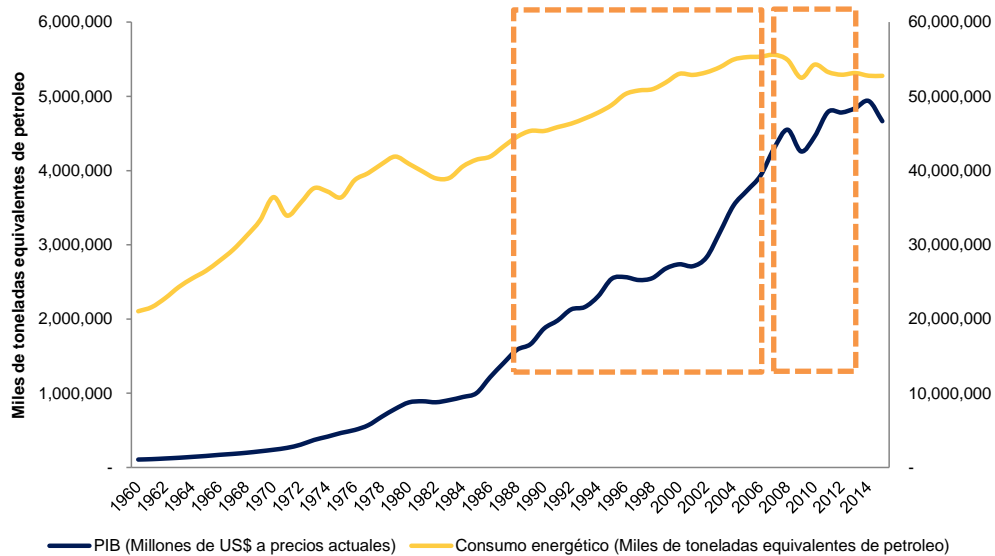


Ilustración 2. Consumo energético frente al producto interior bruto para los países de la OCDE entre 1960 y 2015.

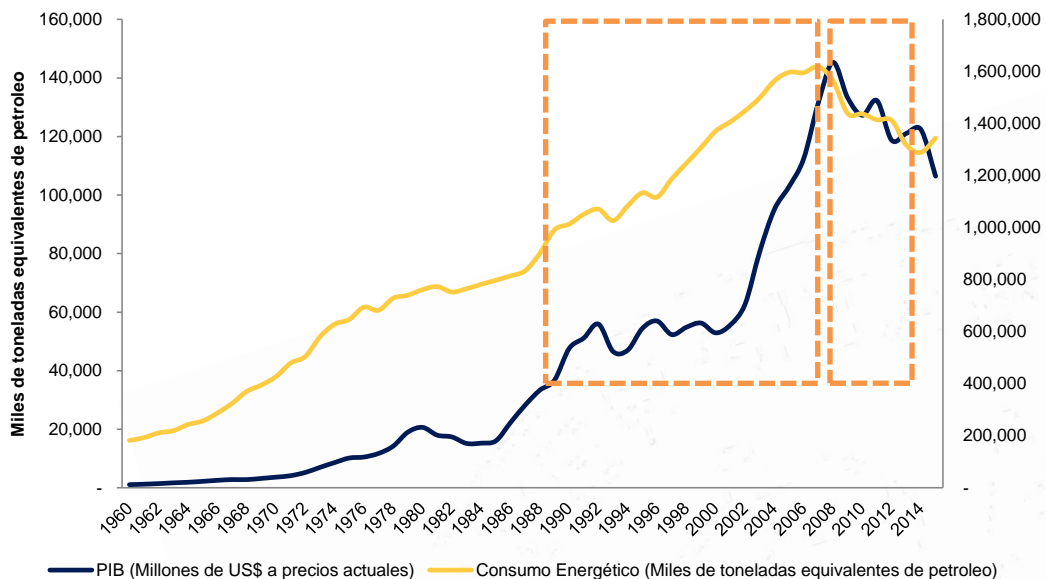


Ilustración 3. Consumo energético frente a al producto interior bruto para España entre 1960 y 2015

A simple vista, puede observarse un mayor incremento del consumo energético respecto al PIB desde los años 90 hasta 2008 comparado con el resto de países de su entorno de la OCDE, mientras que a partir de ese año, la tendencia de ambas variables difiere de la de los países de su entorno. Por tanto, la cuestión es, ¿Cómo ha afectado la evolución del sistema productivo español al consumo energético y qué parte



realmente puede explicarse por una mejora de la intensidad energética y no por un desplazamiento de los sectores productivos hacia sectores menos energéticamente intensivos? ¿Cómo ha cambiado la tendencia de la intensidad energética con el impacto de la crisis económica y en qué sectores ha mostrado su mayor impacto?

Adicionalmente, desde los años 90 con el Protocolo de Kioto, los países industrializados han tomado un papel activo de cara a la reducción de gases de efecto invernadero, magnitud estrechamente relacionada con la intensidad energética, generándose así un enorme interés público por las políticas de análisis y control de estas emisiones.

En el ámbito de la Unión Europea se han establecido objetivos concretos en materia de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para 2020 aprobadas por el Consejo Europeo en 2007. El objetivo común de los países de la Unión Europea es que las emisiones deben reducirse en un 20% respecto a los niveles de 1990 siguiendo dos pautas:

- Los sectores más intensivos de la energía (Industria de la metalurgia o los minerales no metálicos) deben reducir sus emisiones un 21% respecto al año 2005 pero situadas en el marco del comercio europeo de derechos de emisión, que permite deslocalizar dichas emisiones en otros países a precios de mercado.
- El resto de sectores productivos deben reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero un 10% respecto a las emisiones del año 2005, quedando fuera del marco del comercio europeo de derechos de emisión.

Estas políticas están estrechamente relacionadas con el consumo energético y su evolución respecto al PIB, de esta forma, un análisis de la intensidad de emisiones respecto al PIB permite un mayor detalle de cómo los cambios estructurales, tecnológicos y sociales de la economía están condicionando a las políticas empleadas. Por último, España es un país claramente importador de recursos energéticos donde aproximadamente entre un 20% y un 25% de dichos recursos han sido importados en los últimos años, disparándose hasta el 99% en el caso de hidrocarburos líquidos y gaseosos. Un análisis de la intensidad energética podría ayudar a comprender mejor el



impacto que la evolución del sistema productivo puede tener en la dependencia energética exterior y en la intensidad de emisiones de los gases de efecto invernadero. Para analizar su importancia y su evolución, se deben considerar otros elementos importantes como la estructura de la economía, la demanda del transporte y los hogares, el mix energético o incluso factores sociales. Es decir, la intensidad energética tiene implicaciones para los países que van más allá del medio ambiente, esta relación afecta a su dependencia energética exterior, a su competitividad y su nivel tecnológico, a la estructura de su sistema productivo o la planificación y seguimiento de políticas relacionadas con emisiones de gases de efecto invernadero.

Como el concepto de la IE es tan amplio e incluye tantos factores con efectos contrarios (actividad y estructura económica, eficiencia energética de multitud de sectores, tecnologías de generación de electricidad, precios, etc.) no se pueden sacar conclusiones definitivas observando solo las tendencias de las series temporales de las grandes magnitudes agregadas, es necesario introducir análisis econométricos y/o matemáticos.

1.2 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

La crisis energética de la década de los 70 supuso un cambio de paradigma a la hora de entender la relación entre el consumo energético y el crecimiento económico. A raíz de dicha crisis, muchos países desarrollados redujeron su consumo energético por unidad de PIB, iniciando así un proceso progresivo de independencia entre consumo energético y desarrollo económico, un concepto que fue bautizado como desmaterialización.

En los años siguientes se desarrollaron diversos estudios para justificar las teorías de desmaterialización, los cuales conllevaron el desarrollo de nuevos análisis matemáticos para analizar el impacto de las variables de estudio en los índices. Una de las técnicas empleadas fue la metodología de descomposición de indicadores, una técnica que empieza a desarrollarse a finales de los años 70 para así entender la tendencia y el impacto del consumo energético en los distintos sectores que conforman el ámbito industrial. El objetivo era determinar aquellas fuerzas determinantes en estos



cambios para evaluar así las políticas aplicadas y establecer nuevos planes de acción para optimizar el consumo y lograr los objetivos propuestos.

Los estudios sobre intensidad energética suelen limitar su análisis a la intensidad energética final, limitando así el entendimiento del papel del sector de la producción energética, más aun otros tantos se centran únicamente en el análisis del sector industrial, abarcando únicamente un 30% del consumo energético final como puede observarse en la siguiente ilustración:

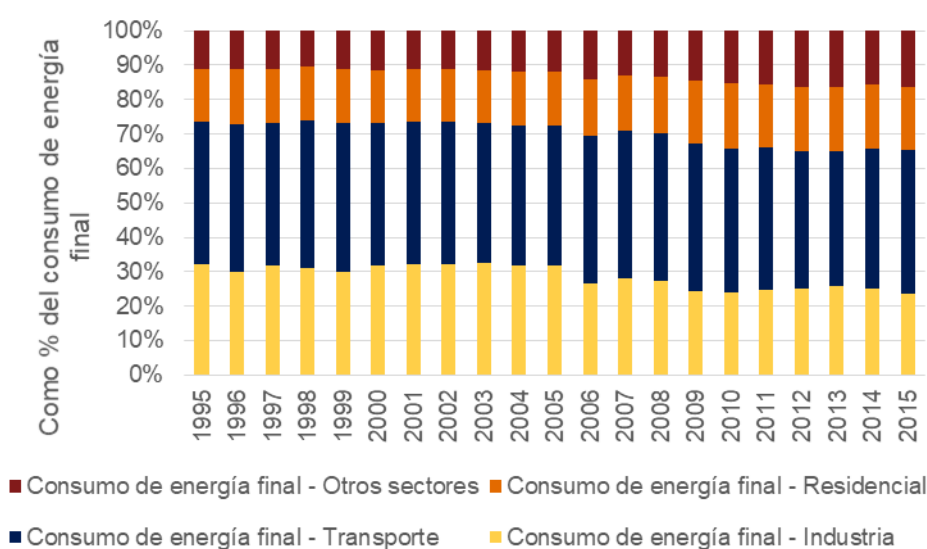


Ilustración 4. Participaciones de los sectores industrial, residencial y transporte en

Diversos análisis han demostrado que la evolución de la intensidad energética en España en el periodo previo a la crisis económica y financiera de 2008 no sigue la misma línea que otros países de su entorno económico, ya que mientras una mayoría de economías desarrolladas llevaban a cabo un proceso de desmaterialización, en España esta no se redujo.

Por lo que el objetivo del presente informe consiste en realizar un estudio sectorial de la intensidad energética total de España que abarque todos los consumos energéticos para comprender como influye su evolución en el indicador agregado. Además, debido al marco temporal, no existe un estudio que analice la tendencia de este indicador antes y después del periodo de coyuntura económica sufrido a partir de 2008.



Adicionalmente, la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero guarda una estrecha relación por medio de los combustibles empleados con la intensidad energética, donde el sector transformador juega un papel fundamental en esta relación. Por lo que el estudio de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero ayudará a comprender cómo ha influido la coyuntura económica en la tendencia de estos indicadores y algunos de los factores que influyen en ella.

Ambos estudios conjuntos a nivel sectorial pueden ser clave para profundizar en el seguimiento de la eficiencia energética de una economía y más aún, aplicado al caso de España donde los índices agregados no explican suficiente a cerca de su evolución en los últimos años.

1.3 RECURSOS EMPLEADOS Y METODOLOGÍA

En primer lugar, si se quiere entender y analizar cuál fue el impacto de la coyuntura económica en la tendencia llevada por ambos indicadores de intensidad, es necesario abarcar un periodo suficientemente largo para evitar que factores como el clima distorsionen los resultados, así que este informe centra su análisis en el periodo 1995-2015. Los datos de consumos sectoriales y balances energéticos se obtienen de fuentes oficiales internacionales como Eurostat y la Agencia Internacional de Energía, mientras que las emisiones de gases de efecto invernadero y la información relativa a variables económicas se obtienen de una fuente nacional, el Instituto Nacional de Estadística. Adicionalmente, para el análisis de magnitudes agregadas se han empleado también como fuente datos oficiales de la Organización para la Cooperación y el desarrollo económicos (OCDE).

La metodología llevada a cabo en el presente informe consiste en la recopilación de estadísticas suficientes que permitan disponer de los elementos que componen la intensidad energética y de emisiones de gases de efecto invernadero para así descomponer dichos índices empleando un método de descomposición basado en índices, más concretamente el llamado método Divisia.

Adicionalmente, se ha recurrido a referencias de distintos autores que han desarrollado teorías acerca de cómo debería evolucionar el consumo energético frente al desarrollo



de las economías junto con otros autores que han realizado estudios matemáticos y econométricos para analizar las hipótesis presentadas en dichas teorías. La introducción de estos trabajos tiene el objetivo de presentar un marco teórico para emplear como referencia en los resultados que se obtengan al analizar en profundidad la intensidad energética y la intensidad de gases de efecto invernadero en España.



Capítulo 2 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA

2.1 EL PROCESO DE DESMATERIALIZACIÓN DE LOS PAÍSES DESARROLLADOS

A lo largo de los años se ha observado una tendencia en la intensidad energética, la cual, tiende a disminuir en los países desarrollados a lo largo del tiempo, este fenómeno se conoce como desmaterialización de la economía. Este término se puede definir como la reducción a lo largo del tiempo de la cantidad de material o energía empleada y residuo generado en el desarrollo de la funciones económicas en una sociedad (Wernick, 1966).

Esta desmaterialización se puede entender como un desacoplo entre el consumo energético y el crecimiento económico, motivado en gran parte por un cambio del modelo productivo, reduciendo el peso de la industria, especialmente las industrias electro intensivas, y potenciando el sector servicios, con valores de intensidad energética mucho menores. Como puede observarse en la Ilustración 5, una amplia mayoría de los países del entorno de España redujo su consumo energético por unidad de PIB entre 1971 y 2014, pero esto no implica que se redujera su consumo absoluto, de hecho en algunos casos (Irlanda, Noruega, Austria o Italia) el consumo por habitante se incrementó entre 1971 y 2014 como en el caso de España. Por tanto, este desacoplamiento existente entre consumo energético y producto interior bruto hace referencia a un término relativo y no absoluto como podría pensarse. Existen algunos casos extremos como el de Corea, donde, aunque la escala no alcance a mostrarlo, el incremento de consumo energético por habitante se incrementó un 932% entre 1971 y 2014 debido a la gran industrialización de la economía que llevo a cabo el país tras la guerra de Corea para crear una industria pesada capaz de competir internacionalmente.

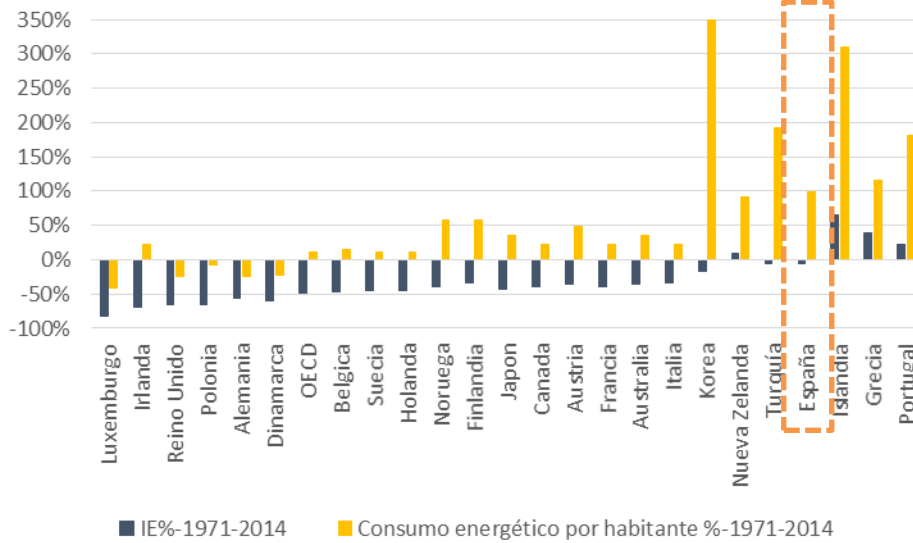


Ilustración 5. Variación de la intensidad energética final en los países de la OCDE entre 1971 y 2014.

El origen de las teorías que explican el proceso de desmaterialización surge en los años 70, cuando diversos autores publicaron distintos ensayos y estudios con distintas teorías iniciales sobre la desmaterialización. Estos iban desde un colapso ecológico derivado del crecimiento económico que comprometería el mundo de las futuras generaciones, hasta estudios como el de Wilfred Malembaum que mostraban una reducción en la intensidad de uso de los recursos minerales entre 1951 y 1975 derivados de mejoras tecnológicas y cambios en el consumo final de bienes y servicios. Pero no fue hasta finales de los años 70 cuando, debido a las crisis energéticas, se empezó a producir un desacoplamiento en los principales países occidentales, verificándose así las teorías expuestas sobre la desmaterialización. Esta crisis, la más grande desde el crack del 29, se debió a un embargo que realizaron los países de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) a Europa y Estados Unidos en 1973 debido a su apoyo a Israel en la guerra de Yom Kippur. Como resultado, el precio del barril de crudo, principal fuente energética y que había mantenido un precio estable en los 30 años anteriores, disparó su precio a finales de los años 70.

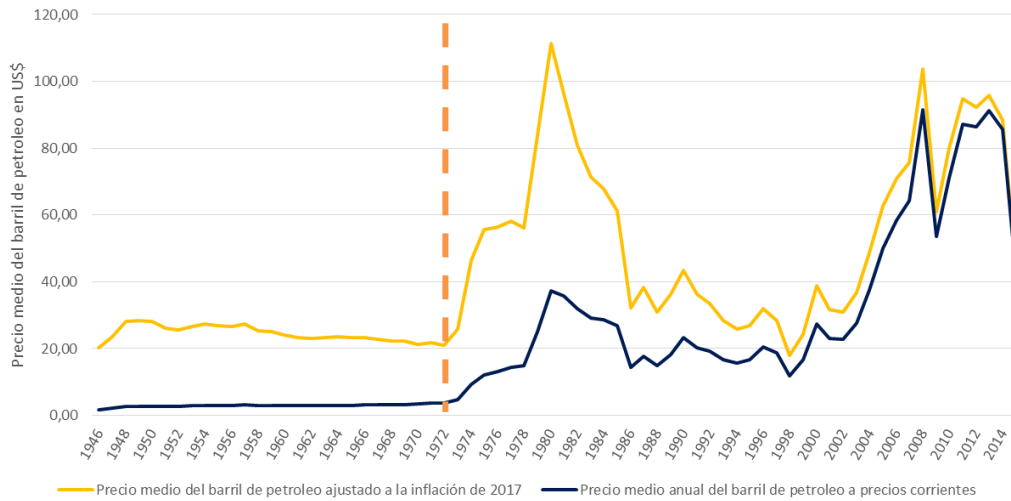


Ilustración 6. Comparativa entre el precio medio del barril de petróleo ajustado y no ajustado a la inflación entre 1946 y 2015.

Durante los años posteriores se desarrolló la teoría de que las sociedades tendían a disminuir el consumo de recursos naturales según crecían y aumentaban su nivel de desarrollo, principalmente debido a un cambio estructural en la economía en el que el sector terciario aumentaba su peso en detrimento del sector primario y secundario. De hecho, como en el caso de Bernardini, 1993, se aseguró que existe un punto de inflexión para todo estado, a partir del cual si el PIB por habitante sigue creciendo, la intensidad de uso de los recursos disminuye, es decir un punto a partir del cual se produce un desacoplo entre consumo y crecimiento tal y como se muestra en la Ilustración 7. De hecho tal y como se demuestra en Medlock, 2001, esta curva tiene forma de “U” invertida y es asimétrica.



Ilustración 7. Curva medio ambiental de Kuznets. Fuente Bernardini, 1993.

Pero lo cierto es que, sin necesidad de consultar a un antropólogo social, al analizar la evolución de las sociedades desde sus orígenes hasta lo tiempos más modernos, se produce una evolución y un cambio del peso que cada sector tiene dentro de la economía. Tras las fases iniciales donde la agricultura tiene la mayor parte del peso de la economía, entra en juego el sector industrial, que poco a poco gana terreno y delega a un segundo plano el sector primario. Como resultado, aumenta el uso de recursos y su intensidad de uso, ya que por ejemplo, la energía necesaria para fabricar acero y cemento es mucho más grande que aquella necesaria para el sector agrícola. Finalmente, se produce una tercerización de la economía mediante el sector servicios, disminuyendo considerablemente la demanda energética por cada unidad económica generada. Pero este proceso es escalonado, en primer lugar aumenta la producción de la llamada industria ligera, más orientada al consumidor final que al consumidor intermedio, a continuación aumenta el sector servicios, y es el efecto combinado de ambas el que reduce la intensidad energética respecto al producto interior bruto. De hecho, el sector industrial se resiente aún más si se tiene en cuenta que a medida que un país se desarrolla y construye sus infraestructuras, la necesidad de material y energía para la construcción, ampliación y mantenimiento de estas se verá reducida.

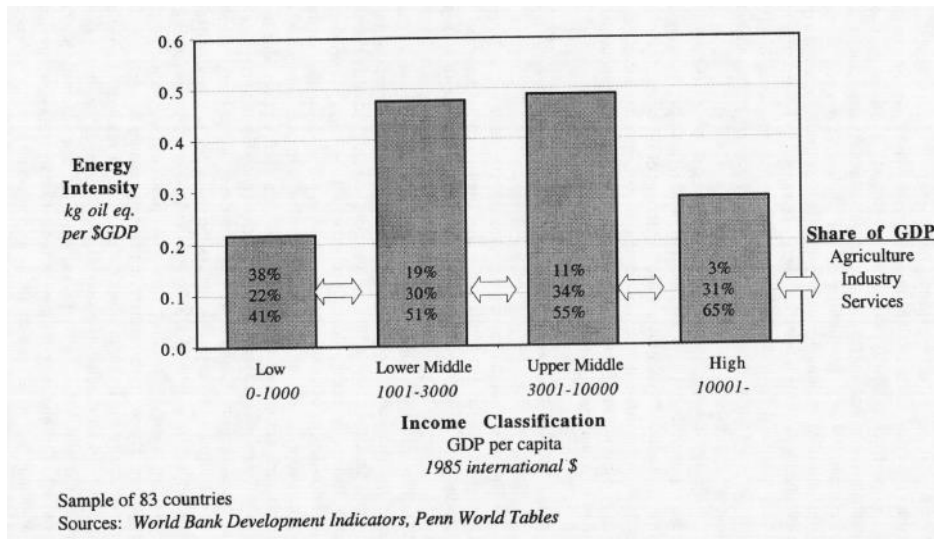


Ilustración 8. Intensidad energética en función de la renta per cápita y el peso de los sectores en su economía. Fuente Medlock, 2001.

Tras definir la tendencia general de los estados en el consumo energético a nivel agregado, es de esperar que el siguiente paso dado por los investigadores fuera ir un paso más allá y analizar la tendencia del consumo en cada sector en relación con el desarrollo económico. Este trabajo fue desarrollado por Medlock, 2001, quien, analizando los datos de los sectores industrial, residencial y transporte de 28 países con distintos niveles de desarrollo entre 1978 y 1995, logró estimar un modelo de la evolución del consumo energético respecto al desarrollo económico.

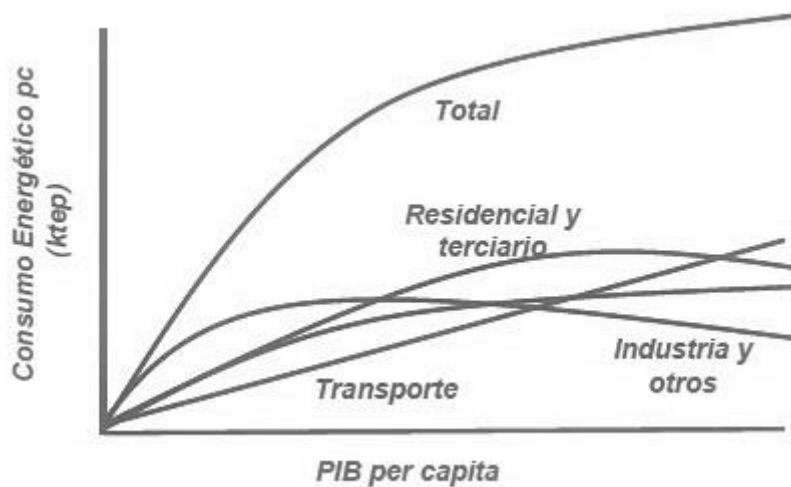


Ilustración 9. Modelo de consumo energético de un estado. Fuente Medlock, 2001.



De acuerdo al modelo desarrollado, se observa que tanto la industria como el sector residencial alcanzan un momento de saturación. Sin embargo, esta saturación se produce en puntos distintos de nivel de renta per cápita, por lo que la tercerización de la economía se produce antes de la saturación del consumo energético residencial. Esta afirmación tiene sentido ya que el inicio del proceso de desmaterialización de la economía se produce en países en vías de desarrollo mientras que el punto en el que más gasto residencial hay se da en países desarrollados. Por otra parte, el transporte no alcanza un punto de saturación claro, es decir, es el sector que llegado a cierto punto de desarrollo de un estado, capturara la mayor parte del consumo energético final. De hecho, este autor indica que como resultado este efecto aumentara la dependencia del petróleo de los estados más desarrollados, es cierto que esto es lo que ha pasado a lo largo de estos años, pero ahora, con la incidencia de los vehículos eléctricos y los medios de transporte público empleando electricidad, es una tendencia que posiblemente cambie, siendo independiente la intensidad energética del transporte de la dependencia energética de un estado.

Como conclusión de su estudio, Medlock, afirma que cuando los países alcanzan un cierto nivel de desarrollo económico, un umbral de renta per cápita, la intensidad energética tanto a nivel agregado como a nivel sectorial se estabiliza para, a continuación, reducirse para rentas más altas.

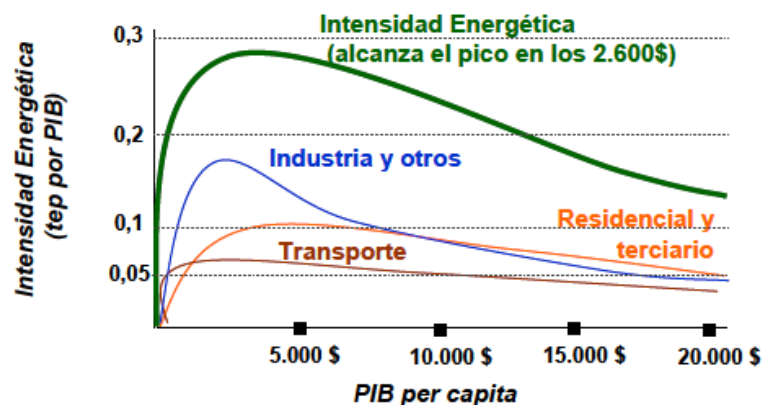


Ilustración 10. Modelo de la intensidad energética de un estado. Fuente: Medlock, 2001



2.2 EL PROCESO DE DESMATERIALIZACIÓN DE ESPAÑA

Una vez explicado el marco teórico de cómo cabe esperar que se desarrolle el consumo energético respecto a la evolución de la economía, es posible realizar un análisis inicial y compararlo con el caso de España en términos de magnitudes agregadas y compararla con las economías de su entorno.

En primer lugar, para eliminar el efecto que supuso la coyuntura económica de 2008 en el desarrollo de la intensidad energética de los países comprendido dentro del entorno OCDE (Organización para la cooperación y el desarrollo económicos), puede acotarse el horizonte temporal mostrado en la Ilustración 5 al año 2007. En la Ilustración 11 se observa que España es uno de los pocos países del entorno que no ha reducido su intensidad energética entre 1970 y 2007.

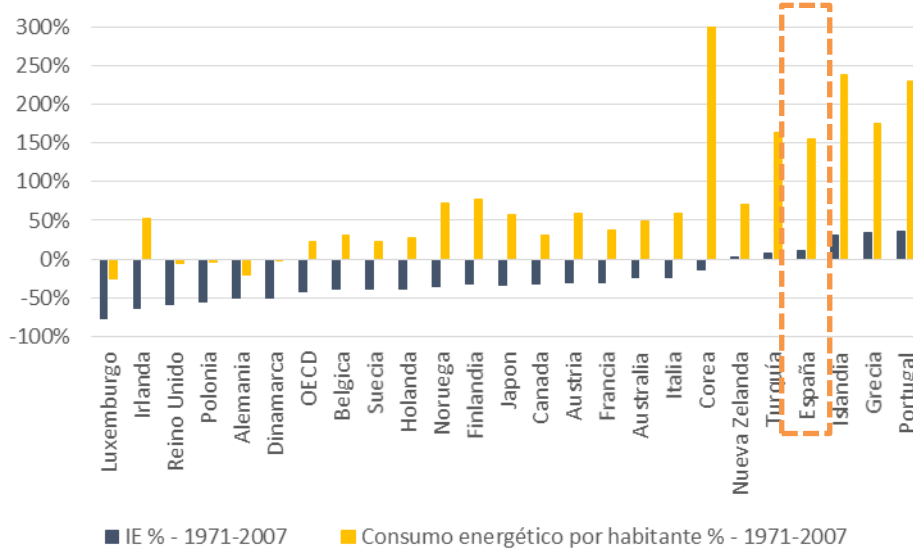


Ilustración 11. Variación de la intensidad energética final en los países de la OCDE entre 1970 y 2007

A la vista de los resultados se observa que la mayoría de los países siguieron una tendencia similar en relación a la evolución de la intensidad energética final acorde con el marco teórico explicado. Sin embargo, también se observa que España es uno de los pocos países del entorno que no redujo su intensidad energética.

Por tanto, el hecho de que la intensidad energética haya disminuido en los países del entorno económico de España, con la consecuente desmaterialización de su economía,



mientras que en España ha aumentado, suscita incógnitas para los investigadores de la materia. En primer lugar, si se analiza el peso de la industria en el periodo de tiempo entre 1995 y 2014 en España tal y como viene mostrado en el Anexo 1, se observa que el peso de la industria varía desde algo menos de un 20% a algo más de un 15%. De hecho, este cambio no es constante a lo largo de estos años, la variación se da principalmente entre 1998 y 2009, es decir hasta poco más tarde del comienzo de la crisis, manteniéndose estable a partir de ahí hasta el 2014.

Es decir, si antes se ha indicado que la intensidad energética española se mantuvo al alza hasta aproximadamente el comienzo de la crisis, ¿Cómo es posible que ésta creciera si el peso de la industria en la economía española disminuyó?

Si se profundiza un poco en las variables económicas, es posible esbozar un explicación inicial a cerca del por qué la evolución de la intensidad energética en el periodo previo a la crisis económica evolucionó de forma distinta.

Si se analiza el Anexo 1, se puede observar cómo el porcentaje del peso de la industria en la economía que se reduce cada año desde 1998, es prácticamente el mismo que aumenta el sector de la construcción, ya que además, el sector servicios crece desde algo menos de un 60% en 1995 hasta casi un 70% en 2014, sin embargo este cambio solo se produce a partir de 2006-2007, justo antes del inicio de la crisis tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

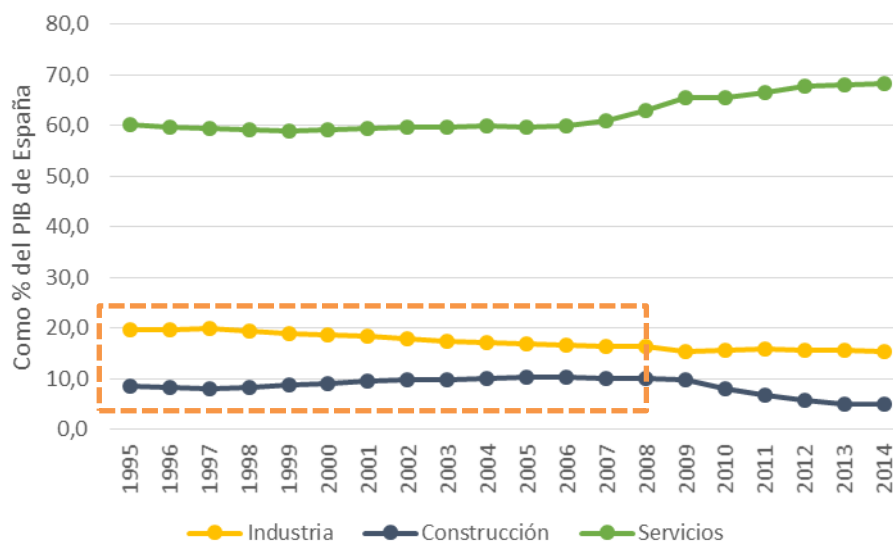


Ilustración 12. Peso de los sectores productivos en la economía española. Elaboración propia a partir de datos del INE.

Es decir, parece ser que el proceso de desmaterialización de la economía española ha sido frenado debido a la burbuja inmobiliaria; y no ha sido hasta la crisis económica cuando la economía española ha aumentado el peso de su sector servicios en detrimento de la industria y la construcción.

Pero este análisis es bastante limitado, ya que no tiene en cuenta los consumos energéticos de estos sectores ni cómo influye la relación con su peso en la economía en el indicador agregado de la intensidad energética.

Además, de cara a comprender el impacto que tuvo la coyuntura económica de 2008 en el indicador de la intensidad energética de España, es necesario comprender qué factores fueron clave y en qué medida y la relación entre ellos. Pero, por ahora, si acotamos el análisis únicamente al periodo posterior a la coyuntura económica y lo comparamos con el periodo previo, puede observarse claramente un cambio en la tendencia seguida por la intensidad energética, tal y como se muestra en la Ilustración 13.

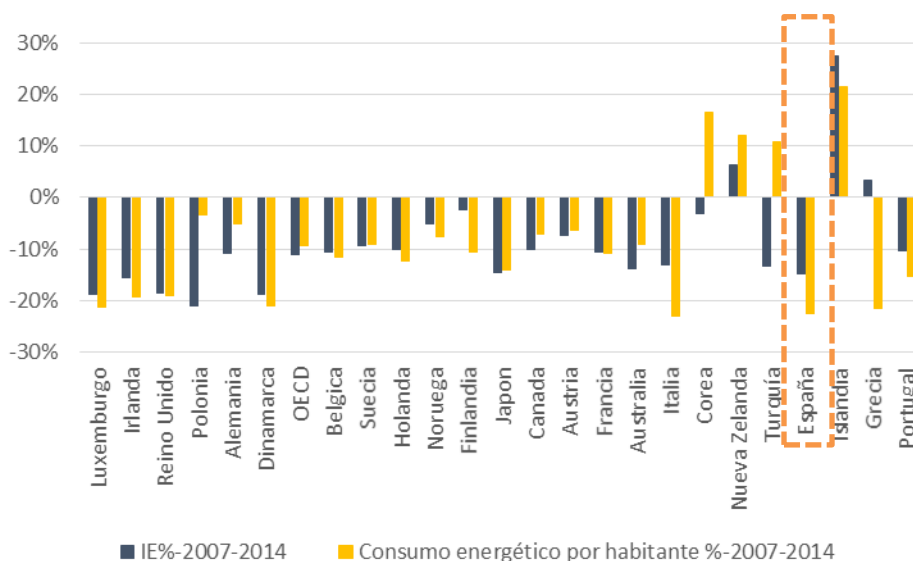


Ilustración 13. Variación de la intensidad energética en los países de la OCDE entre 2007 y 2014

A la vista de este análisis inicial, podemos observar que países de entornos similares como el sur de Europa (Grecia, Portugal o España) han mantenido tendencias similares respecto a la evolución de su intensidad energética entre 1971 y 2007, las cuales difieren de otros países del centro y norte de Europa, por tanto, se puede entender que existen factores que afectan a la evolución del consumo energético que van más allá de las teorías de desmaterialización de los países desarrollados. Se profundizará en dichos factores en la siguiente sección.

2.3 ¿QUÉ FACTORES INFLUYEN EN LA INTENSIDAD ENERGÉTICA?

Históricamente, el crecimiento económico ha ido siempre asociado con un crecimiento proporcional del consumo energético, derivándose de éste consecuencias medio ambientales. Por tanto, se puede decir que la intensidad energética es una medida importante de la sostenibilidad del desarrollo económico. El objetivo de este indicador es identificar si existe un desacoplamiento entre el consumo energético y el crecimiento económico, el cual puede ser relativo cuando el consumo energético crece más lento que la economía, o absoluto si el consumo se mantiene estable o cae mientras



que la economía crece. A la vista de las implicaciones de este indicador, es de esperar que sea usado no solo por los investigadores sino también por países para fijar objetivos y comprobar la viabilidad de las políticas energéticas aplicadas. Ejemplo de ello son objetivos medioambientales para fijar las emisiones de una industria o un agregado, reducir la dependencia energética exterior (que en el caso español es muy elevada como se observa en la Ilustración 144) o establecer puntos de referencia para los planes de eficiencia energética.

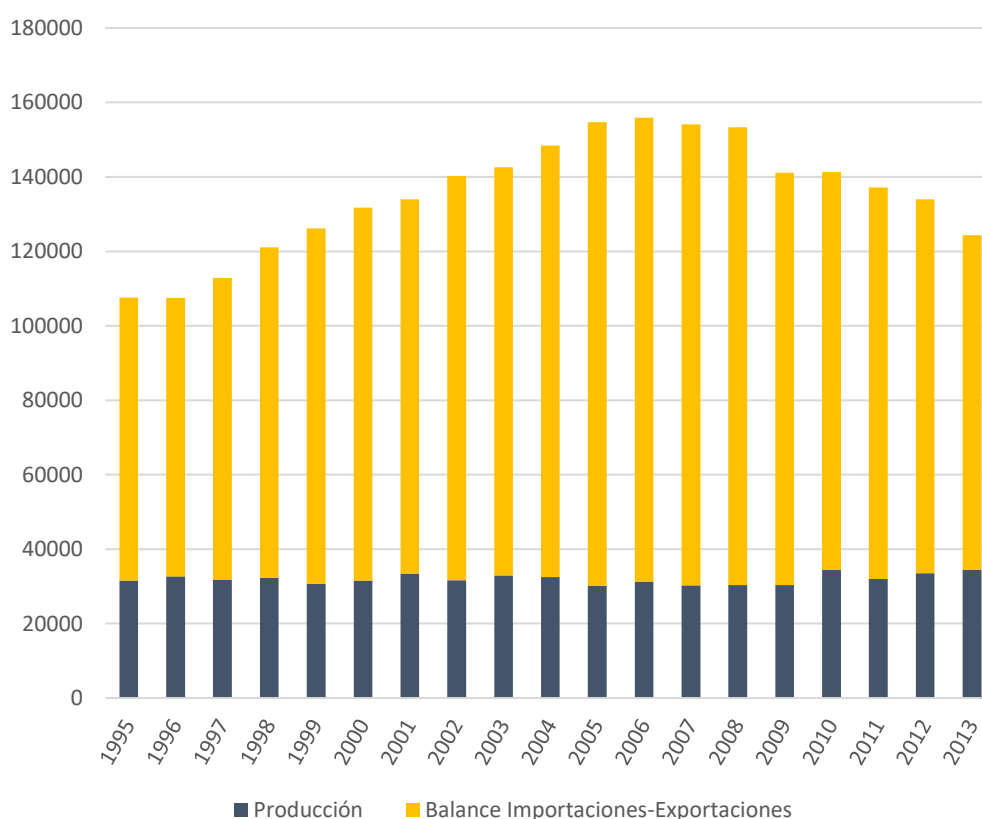


Ilustración 14. Balance nacional energético de España de 1995 a 2013. Elaboración propia a partir de datos de IEA.

En resumen, lograr un desacoplo entre el crecimiento económico y el consumo energético puede beneficiar a la vez la consecución de objetivos económicos y medioambientales. Esto se puede lograr por medio de una reducción de la demanda energética o aumentando la eficiencia energética (disminuyendo el uso de energía para las mismas actividades productivas), o mediante una combinación de las dos. Sin



embargo, para analizarlo desde una perspectiva medioambiental también es necesario conocer los combustibles y la tecnología empleada en la generación energética.

Además, la intensidad energética se identifica a menudo como un indicador de la eficiencia energética de un país, sin embargo, se puede decir que la intensidad energética no la refleja de una forma totalmente perfecta. Para reflejar la intensidad energética de una forma perfecta, sería necesario conocer la función matemática que relacione los inputs y los outputs de cada proceso industrial, pero debido a la falta de datos y la confidencialidad de los procesos se recurre a indicadores agregados de distintos procesos y sectores como es el análisis de la intensidad energética.

Por otra parte existen factores que generan un ruido a la hora de relacionar la intensidad energética con la eficiencia energética. Por un lado, la intensidad energética depende de otros elementos como el clima o el tipo de productos fabricados por la industria, los cuales no pueden ser explicados por datos como el consumo energético o el valor añadido bruto. Además, está la estructura económica de un país, un sector industrial con mayor peso en la economía o con mayor presencia de industrias electro intensivas generara mayores valores de ratio de intensidad energética que otras estructuras económicas con mayor peso del sector servicios. Como resultado, estos valores más elevados pueden ser identificados como ineficiencias energéticas de la economía, sin embargo estas solo dependerán de las funciones que los procesos productivos empleen. Pero los problemas presentados en el párrafo anterior pueden paliarse, o al menos, solventarse en cierta parte; para eliminar el efecto de la estructura económica en la intensidad energética y el tipo de industria puede llevarse a cabo un análisis mucho más preciso y desagregado a nivel sectorial, analizando por separado cada tipo de industria presente en un país para así agrupar las operaciones con procesos similares. Sin embargo, este procedimiento no es suficiente si se quiere comparar la intensidad energética de distintos países con distintas condiciones climáticas o entre distintos sectores dentro de un mismo país, se necesita estudiar la intensidad energética a nivel relativo respecto a un año de referencia y evitar así hablar de términos absolutos que pueden dar lugar a equivocación a la hora de hacer comparaciones o de interpretar resultados.



Además, la intensidad energética presenta otros problemas intrínsecos en los datos que emplea, difícilmente corregibles. Por ejemplo, en una recesión, el producto interior bruto tiende a caer más rápido que el consumo energético por lo que el indicador de eficiencia energética puede sufrir un pico difícil de explicar. De hecho, el informe World Energy Outlook de 2012 recalca que en 2009 y 2010 la intensidad energética global aumentó de forma excepcional debido a la contracción económica, a la caída de los precios de los combustibles que potenció el consumo energético y a una temperatura anormal en algunas regiones. Por tanto, es posible que en el caso de juntarse diversos factores a la vez con efectos dispares y difíciles de cuantificar, estos hagan que el indicador de la intensidad energética disfrace la información e lugar de interpretarla.

De hecho existen otros factores como la distribución de la población en el estado, la disponibilidad de recursos naturales, su situación geográfica o la deslocalización de industrias intensivas de energía, esta última práctica, realizada especialmente por Europa y Estados Unidos en los últimos años, que pueden distorsionar la comprensión de la evolución de la intensidad energética. De hecho, hoy en día existen muchos críticos que acusan a estos países de camuflar su consumo energético, ya que si importan los productos de la llamada industria pesada tras deslocalizar su producción, esta reducción en la intensidad energética puede entenderse como un falso proceso de descarbonización. Este efecto, derivado de la globalización, puede incluso mostrar un peor resultado si la transferencia de industrias electro intensivas a países menos desarrollados genera mayores presiones medioambientales a nivel global al emplearse técnicas menos eficientes en su producción, por tanto aunque se reduzca la intensidad energética en estos países, la intensidad energética a nivel global se ve incrementada.

Ahora que se han introducido ciertos factores y su impacto en la intensidad energética como índice, se puede ejemplificar con datos reales de los países del entorno económico de España y observar y justificar las diferencias. Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, en los países desarrollados se ha mostrado un desacoplamiento relativo desde mediados de los años 70 hasta la fecha, sin embargo en el caso de España, ésta se ha incrementado hasta poco antes de la crisis económica, donde se ha moderado y ha experimentado un fuerte descenso. Como resultado, la intensidad



energética en España es de las que menos se ha visto reducida dentro de los países del entorno de la OCDE desde 1971, potenciado esta reducción especialmente en los últimos años.

Si se vuelve a analizar la evolución de la intensidad energética entre 1971 y 2014 (Ilustración 5), se observa que los países del norte y este de Europa, Australia y Canadá presentan las mayores reducciones de su intensidad energética, mientras que los países del mediterráneo, Islandia y algún país asiático como Corea muestran un cambio menor. Como se ha indicado anteriormente, se observa cómo factores como las condiciones climáticas o la especialización económica pueden afectar al desarrollo de este índice como el caso de Corea donde el 40% del PIB es generado por el sector industrial mientras que en España es un 20% o Islandia donde los productos con un alto coste energético de fabricación suponen casi un 40 % del total de las exportaciones.

Pero el hecho de que este índice se haya visto reducido de una forma generalizada puede no ser solo consecuencia de políticas de eficiencia energética y cambios estructurales de la economía, el clima mediterráneo que limita las mejoras en eficiencia energética de los sistemas de climatización puede haber influido en la evolución de los países del sur de Europa.

Sin embargo, si se desea interpretar los efectos medioambientales en términos de gases de efecto invernadero de la intensidad energética, es necesario hacer un desglose del tipo de productos energéticos empleados en el mix nacional. Pero lo cierto es que pese a que a lo largo de los últimos años se ha dado un fuerte crecimiento en el uso de energías renovables y hay casos extraordinarios como el de Islandia (en 2014 toda la energía eléctrica fue producida a partir de fuentes renovables) o Francia donde gran parte de su producción energética proviene de la energía nuclear, en general los países de la OCDE aún emplean combustibles fósiles para más del 80% de su consumo de energía primaria.

De acuerdo a este análisis inicial de la intensidad energética, se pueden esbozar en líneas generales cuales son los factores que afectan a la intensidad energética ya que como se ha visto, ésta no varía simplemente por una mejora de la eficiencia energética en el consumo nacional.



- *Estructura de la economía:* A lo largo de la historia de la economía de un estado, ésta sufre cambios; en los países más desarrollados la industria ha evolucionado hacia industrias menos intensivas y de mayor valor añadido, y el sector servicios ha aumentado su peso en la economía. Todo esto favorece en conjunto un cambio en la intensidad energética a lo largo del tiempo, el cual necesita de un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para observar cambios estructurales significativos y asegurar que no sean meros trámites temporales.
- *Mejoras de procesos y avances tecnológicos:* Se entiende que todo proceso tecnológico lleva a una mejora de la eficiencia energética de un proceso o un producto, dando lugar consecuentemente a una mejora de la intensidad energética. Además, hoy en día con medios de comunicación como internet, la expansión y la interconexión de los conocimientos y tecnologías desarrolladas facilita y acelera el desarrollo de estos procesos.
Sin embargo, estos avances tecnológicos no tienen por qué dar lugar a una mayor eficiencia energética ya que estos cambios pueden generar nuevos procesos o productos con mayores necesidades tecnológicas, como por ejemplo las mejoras en la eficiencia de teléfonos móviles, hacen que los consumidores demanden teléfonos más potentes.
- *Combustibles empleados:* Debido a su disponibilidad, transporte y control, existen fuentes de energía que tienen un valor económico mayor como es el caso de la electricidad o el gas, dando lugar a una mayor calidad energética. Por ejemplo, la eficiencia de un motor eléctrico o de un motor de gasolina para un coche es distinta, por lo que se requieren distintas cantidades de energía para mover el coche.
De hecho si se analiza históricamente el caso Español, se puede observar que a partir de 2007, justo cuando la intensidad energética de en España comenzó a disminuir, el consumo de carbón disminuyó considerablemente, aumentándose el del gas y la electricidad generada por energías renovables



motivado por un plan de incentivos en esta última que además aumento su peso en la economía.

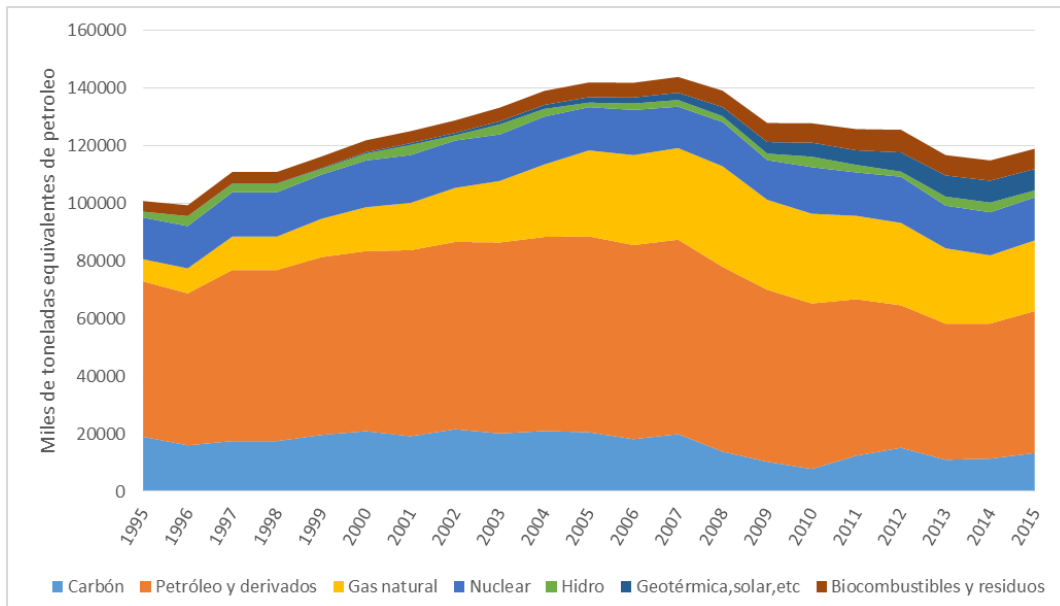


Ilustración 15. Consumo energético en España por tipo de combustible. Datos de IEA.

- *Precio de los combustibles:* Si se tiene en cuenta que en los países de la OCDE existe una dependencia de los combustibles fósiles de un 80%, es de esperar que una variación en el precio tanto positiva como negativa suponga un menor o mayor consumo energético, es decir, el precio de los combustibles influye directamente en las medidas de eficiencia energética que se lleven a cabo en los procesos productivos.
- *Efecto saturación:* Este fenómeno ya se ha introducido en la sección 2.1 y se corresponde con la teoría de que el consumo energético del sector industrial, el sector residencial y el sector terciario alcanzan un punto de saturación al alcanzar distintos umbrales de renta per cápita por lo que cuando los países alcanzan cierto umbral de riqueza, la intensidad energética se estabiliza o llega incluso a reducirse a largo plazo.



- *Preferencias y distribución de la población:* Cada individuo de que cada cultura o país tiene unas preferencias distintas respecto a situaciones cotidianas que condicionan su consumo energético. Por ejemplo, la gente en Estados Unidos tiene más tendencia a poseer coches grandes y potentes que como consecuencia tiene un mayor consumo que aquellos más pequeños preferidos por los europeos.

Otras veces no es cuestión de las preferencias, es decir, una población más concentrada en ciudades permite con mayor facilidad el uso de una red energética más eficiente a nivel municipal para calentar las casas que una población desperdigada por regiones donde resulta más económico el uso de calderas y motores que funcionen por medio de biocombustibles o combustibles de bajo valor energético.

- *Otros factores:* Existen numerosos factores que afectan en términos absolutos a la intensidad energética por lo que resulta difícil recabarlos todos, algunos de ellos no mencionados anteriormente son por ejemplo el clima, que a temperaturas más extremas, existe un mayor consumo residencial. La dependencia energética y la disponibilidad de los recursos naturales ha demostrado ser otro factor muy influyente, ya que los países productores de petróleo como Rusia, Sudáfrica o Irán muestran en términos absolutos los valores más altos de intensidad energética.

Una vez indicados y explicados todos los factores que pueden afectar al indicador de intensidad energética, es de esperar que exista una estrecha relación entre este indicador y la intensidad de gases de efecto invernadero, ya que este último depende principalmente de la demanda de energía y las fuentes energéticas utilizadas para abastecer esa demanda.

Es decir, la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero podría entenderse de forma simplificada como la intensidad energética multiplicada por un factor de conversión que depende del mix energético empleado donde entran en juego el sector de transformación y la disponibilidad de recursos energéticos. Aunque existen casos de economías con abundantes reservas de combustibles fósiles o altos potenciales para



energías renovables, en líneas generales todas las economías emplean recursos diversificados, sin embargo el uso de estos está muy condicionado por el sector, ya que el transporte, por ejemplo, emplea mayoritariamente productos derivados del petróleo mientras que el sector transformación está muy diversificado.

Por último, existe un último factor que afecta igualmente a ambos indicadores agregados, especialmente si se intenta comparar el caso de España con otros países, se trata de la economía sumergida, muy difícil de cuantificar y que en 2015 se estimaba que representaba un 20% del PIB español (EFE,2015). Como resultado, la intensidad energética en términos absolutos tiende a sobre estimarse en los países con grandes economías sumergidas.

Además, la población puede tener gran influencia en la intensidad de emisiones de algunos sectores como el residencial o el transporte e intrínsecamente otras variables relacionadas con ella como la inmigración o la evolución de la renta per cápita, condicionando la demanda energética de los hogares y la industria del transporte. Para analizar estos sectores por separado se debe descomponer el índice agregado de la intensidad energética, tal y como se explica en el siguiente capítulo.



Capítulo 3 METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES

3.1 INTRODUCCIÓN

La metodología de descomposición de indicadores es una técnica que empieza a desarrollarse a finales de los años 70, a raíz de la crisis energética del 73, para así entender la tendencia y el impacto del consumo energético en los distintos sectores que conforman el ámbito industrial. El objetivo es evaluar las fuerzas que son determinantes en los cambios de intensidad energética para evaluar así las políticas aplicadas y establecer nuevos planes de acción para optimizar el consumo y lograr los objetivos propuestos. Pero el ámbito de aplicación se ha expandido en los últimos años, empleándose no solo para analizar la demanda energética, sino también la oferta, la emisión de gases de efecto invernadero, la desmaterialización de las economías, la eficiencia energética, y la comparación de estos valores entre distintos países.

Se pueden establecer dos grandes técnicas a la hora de analizar la descomposición de índices, de hecho, ambos pueden emplearse para una amplia variedad de indicadores tanto ambientales, energéticos o socio-económicos (Rutger Hoekstra, Jeroen C.J.M. Van den Bergh, 2003):

- *Métodos de análisis de descomposición estructural (ADS)*: Este método emplea tablas input-output, empleando coeficientes y demandas de cada sector. Este método requiere más información pero tiene en cuenta los consumos indirectos, es decir, como el aumento de la demanda en unos sectores afecta al aumento de los inputs de otro, tal y como se recoge en la inversa de Leontief del modelo de input-output (Miller and Blair, 1985). Además es capaz de alcanzar un mayor nivel de detalle al identificar el efecto de un mayor rango de factores tecnológicos y efectos de la demanda, los cuales no son posibles de identificar con otros modelos. Pero este alto nivel de detalle, da lugar a problemas en la recogida de datos ya que éstos deben ser más amplios y fiables.



Por eso, este modelo emplea horizontes temporales más pequeños (3-10 años) y analiza un menor número de sectores.

- *Métodos de descomposición basados en índices (DBI):* Estos métodos efectúan el análisis a partir de datos sectoriales y se caracterizan por su sencillez y flexibilidad respecto a los de descomposición estructural, siendo su utilización menos compleja pero también su análisis menos profundo. Estos métodos pueden agruparse principalmente en dos grandes grupos tal y como se muestra en la Ilustración 16, por un lado están los llamados métodos tradicionales, y por otro los Divisia, siendo desarrollados con mayor profundidad más adelante.

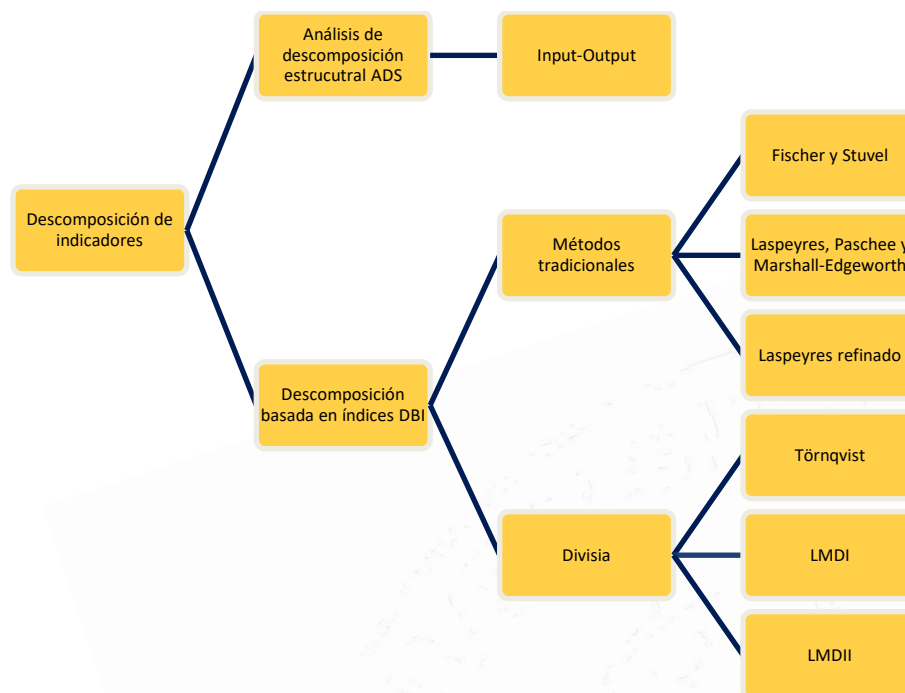


Ilustración 16. Clasificación de los métodos de descomposición de indicadores.

Con el paso de los años, este tipo de estudios se hicieron más y más populares, prueba de ello es que en el año 1995 se habían realizado 51 estudios sobre la intensidad energética en distintas partes del mundo y aplicando distintos métodos mientras que en una encuesta realizada en el año 2000 (Ang and Zhang, 2000) se resumen 124 estudios distintos (109 DBI y 15 ADS) en este ámbito; para 2011 había publicados



unos 320 estudios académicos solo sobre DBI. Por tanto, se observa que la metodología de descomposición de índices tiene un uso más extendido; ya que permite, de una forma muy sencilla, cuantificar el aporte que se hace a nivel sectorial (Intrasectorial o tecnológico) y el aporte el función del peso de cada sector en la economía (Estructural). Pero lo cierto es que tras 30 años no hay un acuerdo claro sobre qué método prevalece sobre los demás, dependerá del tipo de datos que desean analizarse, el ámbito, la aplicabilidad y la necesidad de cómo expresar los resultados. Ésta última surge de la necesidad de expresar los cálculos bien como valores absolutos, porcentuales o intensivos.

Algunos autores (Rutger Hoekstra, Jeroen C.J.M. Van den Bergh, 2003), o en mayor profundidad (Ang and Zhang, 2000) identifican una serie de propiedades que ayudan a definir cada método para así ajustarlo mejor a las necesidades del caso a analizar:

- Descomposición perfecta: Algunos métodos de descomposición generan un residuo por lo que significa que la suma de los factores que componen el índice es distinta al índice sin descomponer.
- Simetría temporal: Al calcular una diferencia relativa como porcentaje, esta dependerá del año que se tome como referencia, ya que un cambio de 50 unidades a 60 es un 20%, sin embargo de 60 a 50 es de un 17%.
- Reciprocidad factorial. Significa que si se multiplican los componentes descompuestos se obtiene el resultado agregado observado.
- Robustez frente a valores nulos: Algunos índices emplean medias logarítmicas en sus algoritmos, dando lugar a errores de cálculo. Aunque existen técnicas para hacer frente a estos errores, como aproximar una δ a valores nulos, se trata de una propiedad a tener cuenta.

Por otro lado, existe además la necesidad de expresar los resultados de forma aditiva o multiplicativa, aunque es cierto que la forma aditiva resulta más complicada de visualizar ya que la multiplicativa puede ser normalizada, pero lo cierto es que ambas presentaciones son ampliamente empleadas.



3.2 *DEFINICIÓN DE VARIABLES*

Tras una introducción a la descomposición de índices, sus propiedades y una primera toma de contacto con los posibles métodos, se puede pasar a aplicar dichos conocimientos al índice que se quiere analizar, la intensidad energética. Se debe definir una ecuación que relacione una serie de factores con un agregado, en este caso, y como se ha indicado anteriormente, ésta no es más que la cantidad de energía utilizada (medida generalmente en ktep) dividida entre el valor añadido bruto de la economía (Euros); para así obtener la cantidad de energía necesaria para cada euro producido.

Para descomponer un índice en varios factores predefinidos se debe, en primer lugar, definir las variables que están presentes dentro de la formulación:

E_t = Consumo energético total en el momento temporal t.

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

Y_t = Valor añadido bruto total en el momento temporal t.

$Y_{i,t}$ = Valor añadido bruto del sector i en el momento temporal t.

$S_{i,t}$ = Participación de cada sector i en el agregado del valor añadido bruto en el momento temporal t.

I_t = Intensidad energética agregada en el momento temporal t.

$I_{i,t}$ = Intensidad energética de cada sector i en el momento temporal t.

Como se ha indicado en el apartado anterior, existen dos formas para analizar los resultados, de forma aditiva y de forma multiplicativa, y posibles distintos factores que expliquen la variación a analizar, siendo el caso más sencillo la componente estructural y la componente intersectorial.

D_{tot} = Variación de la intensidad energética en el método multiplicativo ($=IT/I0$) entre los momentos temporales $t=T$ y $t=0$.

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

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

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



Siendo la relación entre ellos:

$$D_{tot} = \frac{I_T}{I_0} = D_{str} D_{int} D_{rsd} \quad (1)$$

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

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

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

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

Siendo la relación entre ellos:

$$\Delta I_{tot} = I_T - I_0 = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} + \Delta I_{rsd} \quad (2)$$

Por tanto, mediante estos factores se pretende expresar la variación del indicador entre dos momentos temporales $t=0$ y $t=T$ y descomponerlo además en términos de la estructura productiva (estructural) y de la intensidad sectorial (intrasectorial).

Entonces, si se calcula la intensidad energética como el añadido de los sectores:

$$I_t = \frac{E_t}{Y_t} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \cdot \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} = \sum_{i=1}^n S_{i,t} I_{i,t} \quad (3)$$

3.3 EVOLUCIÓN DE LA DESCOMPOSICIÓN BASADA EN ÍNDICES

3.3.1 MÉTODOS TRADICIONALES IMPERFECTOS

Hasta principios de los años ochenta, se empleaba un método basado conceptualmente en el índice de Laspeyres, analizando el efecto que tenía cada factor por medio de mantener constantes el resto de factores respecto al año base que se empleaba. En el caso de aplicarse a la intensidad energética, se mantenían fijos respecto al año base



tanto los valores estructurales como intersectoriales de todos los sectores a excepción de aquel que se deseaba cambiar. Con el paso del tiempo se desarrollaron mejoras y alternativas para este tipo de métodos, también conocidos como tradicionales, algunos ejemplos son Paasche (dando más peso al año final) o Marshall-Edgeworth (haciendo una media entre el año inicial y el año final), pero en cualquier caso, estos métodos mantenían una parte residual incapaz de explicarse por el efecto estructural o intrasectorial (B.W Ang,2004).

$$D_{str} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha S_{i,T} \cdot I_{i,0} + \beta S_{i,T} I_{i,T})}{\sum_{i=1}^n (\gamma S_{i,0} I_{i,0} + \lambda S_{i,0} I_{i,T})} \quad (4)$$

$$D_{str} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha S_{i,0} \cdot I_{i,T} + \beta S_{i,T} I_{i,T})}{\sum_{i=1}^n (\gamma S_{i,0} I_{i,0} + \lambda S_{i,T} I_{i,0})} \quad (5)$$

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

Para los que:

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

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

Por tanto, como se ha indicado previamente, en función de cada método los coeficientes tomaran distintos valores:

- Laspeyres: Se trata del método más utilizado y al estar basado en el año inicial $\alpha=\gamma=1$ y $\beta=\lambda=0$.
- Paasche: En este caso se referencia todo al año actual por lo que $\alpha=\gamma=0$ y $\beta=\lambda=1$.
- Marshall-Edgeworth: En este último caso se ponderan ambos años de la misma forma, $\alpha=\gamma=\beta=\lambda=0.5$.



3.3.2 MÉTODOS TRADICIONALES PERFECTOS

Fue Fischer quien en 1922 aportó con su contribución el mayor avance a la teoría de índices comparando cientos de ellos y concluyendo que no existe un índice perfecto y cuyo axioma ha seguido desarrollándose incluso 75 años más tarde (Balk, 1995). Además, introdujo un índice que, siendo mejorado posteriormente por otros autores, logra una descomposición perfecta empleando conjuntamente de forma multiplicativa los métodos de Laspeyres y Paasche realizando una media geométrica.

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

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

Siendo “S” el efecto estructural de Laspeyres y Paasche respectivamente e “I” el efecto intrasectorial. Siendo además posible expresarlo en forma aditiva:

$$\Delta I_{str} = \sum_{i=1}^n I_{i,0} \Delta S_i + 1/2 \sum_{i=1}^n \Delta S_i \Delta I_i$$

$$\Delta I_{int} = \sum_{i=1}^n S_{i,0} \Delta I_i + 1/2 \sum_{i=1}^n \Delta S_i \Delta I_i$$

Se observa claramente como el método Fischer presenta ventajas claras respecto a los tradicionales ya que se trata de una descomposición perfecta y permite su expresión en forma aditiva. Además de cumplir estas propiedades, cumple la de reciprocidad temporal, siendo uno índice calculado al pasado recíproco a uno calculado al futuro.

Existe otro índice con descomposición perfecta que fue introducido en 1957 por Stuvell pero que apenas ha sido utilizado en la literatura económica (María, 2010). Este índice puede emplear cualquiera de los tres índices imperfectos del apartado anterior y lograr una descomposición perfecta.

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

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

Al igual que en el caso anterior también es posible expresarlo de forma aditiva:



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

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

Este método presenta una descomposición perfecta y una reciprocidad factorial en el agregado pero tal y como expresa el propio autor (Stuvel,1957:129), “existe el inconveniente de que los efectos sectoriales no mantienen una relación con el agregado ya que al igual que en el método de Fischer, no hay consistencia entre el análisis multiplicativo de los cambios de valor de los productos individuales y el agregado”.

Finalmente (Sun,1998), introdujo un método nuevo a la hora de distribuir el peso residual de forma equitativa entre los efectos estudiados. Sin embargo, aunque alcanza una descomposición perfecta, este método solo ha sido desarrollado de forma aditiva.

Para el caso más sencillo en el que se emplean dos factores, se puede observar visualmente cómo funciona el teorema:

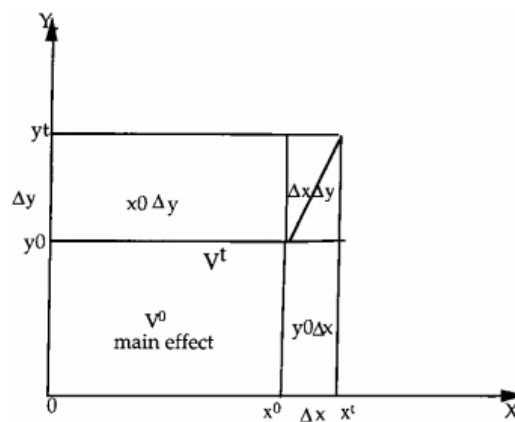


Ilustración 17. Efecto de la descomposición Fuente: (Sun,1998)

Por tanto, los efectos a cada factor, quedan explicados de la siguiente forma:

$$X_{efecto} = y^0 \Delta x + \frac{1}{2} \Delta x \Delta y$$

$$Y_{efecto} = x^0 \Delta y + \frac{1}{2} \Delta x \Delta y$$



Se podría decir que al emplear dos factores, este modelo se asemeja al de Marshall-Edgeworth ya que el residuo se llega a repartir a partes iguales entre ambos factores. Además, este modelo también puede ampliarse a más factores, por ejemplo a tres:

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

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

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

Sin embargo, este método también tiene inconvenientes, por un lado es que al repartir residuos a partir iguales sin ningún criterio, es posible que algún factor absorba efectos que no le corresponden. Además, si se aplican más factores dará lugar a cada vez a ecuaciones más complicadas y laboriosas (Maria,2010).

3.3.3 MÉTODOS DIVISIA

Como se ha explicado anteriormente, laspeyres y métodos derivados de este (B.W Ang, 2004) miden el cambio existentes a lo largo del tiempo estableciendo diferentes pesos para cada año y repartiendo el peso del cálculo residual. Los índices de Divisia son una suma ponderada de las tasas de crecimiento logarítmico, es decir, el cambio está basado en vez de en términos porcentuales, en base logarítmica. Este método fue presentado por primera vez por Törnqvist et al. (1985) como un nuevo método logarítmico simétrico y aditivo, algo que no presentaban otros índices citados anteriormente, capaces de incluir un número elevado de factores.

Para desarrollar este nuevo método se debe partir de nuevo de la ecuación (3):

$$I_t = \frac{E_t}{Y_t} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \cdot \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} = \sum_{i=1}^n S_{i,t} I_{i,t}$$

Y se aplica a ambos lados de la ecuación el logaritmo y a continuación la derivada de este:



$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \ln I_t &= \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{i,t} I_{i,t}} \cdot \frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n S_{i,t} I_{i,t} \right) = \frac{1}{I_t} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{d}{dt} S_{i,t} \right) I_{i,t} + \left(\frac{d}{dt} I_{i,t} \right) S_{i,t} \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{d}{dt} S_{i,t} \right) \frac{I_{i,t}}{I_t} + \left(\frac{d}{dt} I_{i,t} \right) \frac{S_{i,t}}{I_t} \right]\end{aligned}\tag{7}$$

Si se tiene en cuenta que:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \ln(f(t)) &= \frac{1}{f(t)} \frac{d}{dt} f(t) \\ \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n f(t) &= \sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} f(t) \\ \frac{d}{dt} (f(t) \cdot g(t)) &= \left(\frac{d}{dt} f(t) \right) g(t) + \left(\frac{d}{dt} g(t) \right) f(t)\end{aligned}$$

Si además se realiza un pequeño ajuste en la ecuación (7):

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

Entonces:

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

Y de igual manera:

$$\frac{d}{dt} I_{i,t} = \frac{d}{dt} (\ln(I_{i,t})) I_{i,t}$$

Así que, si se introducen las dos ecuaciones anteriores en la ecuación (7) se tiene que:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \ln(I_t) &= \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) \cdot \left(\frac{S_{i,t} I_{i,t}}{I_t} \right) + \left(\frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) \cdot \left(\frac{S_{i,t} I_{i,t}}{I_t} \right) \right] \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{S_{i,t} I_{i,t}}{I_t} \left[\left(\frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) + \left(\frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) \right]\end{aligned}\tag{8}$$



Para simplificar los cálculos, se va a definir un nuevo término W_i equivalente a la participación de un sector sobre el total de la energía:

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

Por lo que la ecuación (8) puede expresarse como:

$$\frac{d}{dt} \ln I_t = \sum_{i=1}^n W_i \left[\frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) + \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right] \quad (9)$$

Ahora, si se realiza la integral de 0 a un tiempo T a la ecuación (9):

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

Y como,

$$\sum_{i=1}^n (x_i + y_i) = \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \ln(I_T) - \ln(I_0) &= \ln(I_T/I_0) \\ &= \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) dt + \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) dt \end{aligned} \quad (10)$$

Por tanto, para calcular la variación de la intensidad energética entre los dos momentos 0 y T se calcula la exponencial a ambos lados de la ecuación:

$$\exp \left\{ \ln(I_T/I_0) \right\} = \exp \left\{ \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) dt + \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) dt \right\} \quad (11)$$

Pero como además se tiene que:

$$\exp(a + b) = \exp(a) \cdot \exp(b)$$



La ecuación (11) puede transformarse en:

$$I_T/I_0 = \exp \left\{ \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) dt \right\} \cdot \exp \left\{ \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) dt \right\} \quad (12)$$

Por tanto, el efecto estructural viene expresado por el primer término de la ecuación mientras que el efecto intrasectorial viene expresado por el segundo término. Al igual que en otros métodos descritos, la clave reside en cómo se asignen los pesos a los años, en el método Törnqvist desarrollado por Boyd et al. (1988) se aproxima el valor de W_i' con una media aritmética:

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

Entonces, se puede definir el efecto estructural e intrasectorial como:

$$D_{str} = \exp \left\{ \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(S_{i,t}) \right) dt \right\} = \exp \left[\sum_{i=1}^n W_i' \left(\ln \left(S_{i,T} / S_{i,0} \right) \right) \right] \quad (13)$$

$$D_{int} = \exp \left\{ \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(W_i \frac{d}{dt} \ln(I_{i,t}) \right) dt \right\} = \exp \left[\sum_{i=1}^n W_i' \left(\ln \left(I_{i,T} / I_{i,0} \right) \right) \right] \quad (14)$$

En esta primera aproximación sí que existe un residuo,

$$D_{rsd} = \frac{D_{tot}}{(D_{str} \cdot D_{int})} \quad (15)$$

Este método además de reducir el residuo, permite la introducción de más factores en la función sin complicarla demasiado. Sin embargo, tal y como se indica en B.W Ang, 2000, a partir de este desarrollo surgieron dos aproximaciones más para W_i' que eliminaban el residuo, LMDI I Sato, K. (1976) y LMDI II Ang and Choi (1997). En estas aproximaciones se emplea una media logarítmica aplicada al periodo temporal a analizar, definiéndose la media logarítmica como:



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

La diferencia entre estos dos métodos reside en que LMDI I toma como W_i' la media logarítmica de la variación de las intensidades sectoriales entre la variación total de la intensidad total, mientras que LMDI II es la variación del consumo energético de cada sector sobre el total de los sectores en el momento temporal T analizar, es decir:

- LMDI I

$$W_i' = \frac{L(E_{iT}/Y_T, E_{i0}/Y_0)}{L(E_T/Y_T, E_0/Y_0)} \quad (16)$$

- LMDI II

$$W_i' = \frac{L(E_{iT}/E_T, E_{i0}/E_0)}{\sum_{i=1}^n L(E_{iT}/E_T, E_{i0}/E_0)} \quad (17)$$

En resumen, tal y como indica B.W Ang, (2004), los métodos derivados de Laspeyres son más fáciles de entender y más intuitivos, sin embargo, los índices Divisia son más científicos, y dentro de estos el método LMDI I es generalmente el preferido en los últimos años. De hecho las ventajas que lo hacen preferible frente a otros métodos son claramente expuestas por María, (2010):

- Es capaz de dar lugar a un resultado perfecto, sin parte residual y cumpliendo las propiedades de simetría temporal y reciprocidad factorial.
- Los resultados pueden expresarse tanto en forma aditiva como multiplicativa; además, la forma aditiva se deriva fácilmente de la forma multiplicativa tal y como se explica más adelante.
- Los resultados pueden ser agregados, es decir que cada sector industrial puede ser agregado para dar lugar al efecto generado por el sector total.



- Permite la aplicación, de una forma sencilla, de más de dos factores definidos en la ecuación principal.

3.4 FORMULACIÓN METODOLÓGICA

Históricamente, los análisis sobre la intensidad energética han estado enfocados en la ecuación (3), es decir, se ha analizado únicamente la intensidad energética final sin tener en cuenta los sectores transformadores, únicamente analizando los sectores industriales. El problema es que en los países desarrollados, el consumo energético de la industria se encuentra entre un 20% y un 30%, para el caso español, pasó de un 22% en 1995 a un 18% en 2014 incluyendo la construcción; por tanto, existe un alto porcentaje del consumo energético del estado que no es analizado. Por último, el consumo residencial emplea un porcentaje similar al de industria en el balance energético nacional, sin embargo, muy pocos estudios incluyen este sector por lo que el análisis puede no ser lo suficientemente completo. En resumen, se pretende justificar todo tipo de consumo energéticos asociados a un valor añadido bruto para así analizar su evolución a lo largo de los años y ver como se han visto afectadas por la crisis económica las componentes que agregan dicha intensidad energética.

Por tanto, para analizar la intensidad energética primero se debe indicar la función explicativa para el análisis de la intensidad energética española:

$$IE = \frac{E_T}{Y_T} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \cdot \frac{Y_{i,t}}{Y_T} + \frac{E_R}{Y_T'} \quad (18)$$

En base a esta función se observa que se descompone la intensidad energética de cada sector (Industria, agricultura, servicios, transporte y energía) y los consiguientes subsectores de cada uno en el primer término. El segundo término representa la componente estructural y se define como el valor añadido bruto de cada sector entre el valor añadido bruto total de España y por último el análisis residencial se realiza en base a renta nacional disponible (Y_T') en vez del valor añadido bruto para así ser más exactos en la capacidad de gasto de los hogares españoles.



Para la desagregación de la intensidad energética se emplea el método LMDI I, descrito en el apartado anterior como el óptimo para estos cálculos, el cual, se compone de un término estructural, otro intrasectorial y un último residencial en base a la ecuación (18) empleada como función explicativa. Se debe recordar además, que al tratarse de un método de descomposición perfecta no existe un término residual.

$$D_{str} = \exp \left[\sum_{i=1}^n W_i' \ln \left(S_{i,t} / S_{i,0} \right) \right]$$

$$D_{int} = \exp \left[\sum_{i=1}^n W_i' \ln \left(I_{i,t} / I_{i,0} \right) \right]$$

$$D_{res} = \exp \left[\sum_{i=1}^n W_i' \ln \left(\left(E_{R,T} / Y_T' \right) / \left(E_{R,0} / Y_0' \right) \right) \right]$$

$$D_{tot} = D_{str} \cdot D_{int} \cdot D_{res}$$

Al emplearse el método LMDI I se emplea la ecuación (16) para el cálculo de W_i' .

Para la expresión de los resultados de forma aditiva, el cálculo se realiza de la misma forma pero cambiando el valor de W_i' ya que no es necesario referenciar el sector al valor total:

$$W_i' = L \left(E_{iT} / Y_T', E_{i0} / Y_0' \right)$$

Además, existe una relación sencilla los resultados expresados de forma aditiva o de forma multiplicativa:

$$\frac{\Delta I_{tot}}{\ln D_{tot}} = \frac{\Delta I_{x,k}}{\ln D_{x,k}}$$

Donde x es el efecto que se está analizando y k el sector correspondiente.



Capítulo 4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES AL CASO DE ESPAÑA

Una vez introducido el marco teórico de la intensidad energética, su evolución en grandes magnitudes en los últimos años y la metodología a emplear para descomponer dicho índice, es necesario explicar qué datos van a emplearse y de qué fuentes. El análisis a realizar para España basa sus resultados en tres tipos de datos, el consumo energético sectorial, datos económicos relacionados con el producto interior bruto y el valor añadido bruto y datos relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero, todos ellos obtenidos de bases de datos de organismos nacionales (INE) o de agencias internacionales (IEA, Eurostat).

4.1 FUENTES ESTADÍSTICAS EMPLEADAS

Para la obtención de las fuentes estadísticas se ha recurrido únicamente a fuentes oficiales de Eurostat, la agencia internacional de energía (IEA) y del INE, las cuales disponen de datos fiables para el periodo temporal a analizar, de 1995 a 2015. Se ha decidido analizar este periodo porque se considera que abarca una cantidad de años suficientemente grande tanto antes como después de la crisis como para identificar la tendencia de los cambios estructurales o tecnológicos y no solo los eventos puntuales. A la hora de realizar el cálculo de la intensidad energética se han requerido dos tipos de datos, por un lado el consumo energético y por otro el valor añadido bruto.

- *Consumo Energético:* Para el consumo energético de España se dispone de los balances energéticos publicados por la IEA [1]; y, aunque estos no profundizan en los sectores industriales, Eurostat [2] ofrece unos balances mucho más



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

desarrollados y asociando además cada consumo energético con una serie de categorías NACE¹.

Si se desea calcular la intensidad energética total, se debe incluir no solo los consumos finales sino también los consumos de los sectores transformadores como la energía. En resumen se analizan los datos de la industria, la energía y la transformación, el transporte, los servicios y el consumo energético residencial. Únicamente cabe destacar como excepción el caso de los consumos no energéticos, los cuales no son analizados ya que no son empleados para la producción energética, sino como sustancias transformadoras en procesos industriales, como por ejemplo los derivados petrolíferos en la industria química.

A la hora de definir el sector transformador conocido como energía, se han agrupado dos subsectores en uno; por un lado el consumo derivado de la generación en las centrales eléctricas y las pérdidas de transporte y distribución y por otro lado todo consumo derivado de la industria de la transformación de carbón y productos petrolífero.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta la relación que se ha establecido entre el consumo energético y su valor añadido asociado. Las categorías del consumo están representadas tal y como muestra Eurostat, y su valor añadido bruto está representado por medio de categorías NACE, las cuales pueden encontrarse definidas en el Anexo NACE. Por último el sector representa el indicador que será objeto de análisis en el trabajo.

¹ NACE es reconocido como la Nomenclatura estadística de actividades económicas de la Comunidad Europea, el sistema de clasificación de las actividades económicas usado en todos los países de la Unión Europea. Sirve para la organización y el registro de datos en el marco estadístico del Eurostat, la base de datos estadísticos comunitaria, así como para las estadísticas oficiales de cada Estado miembro.



		Consumo energético	Valor Añadido Bruto	
		Sector	Categoría Eurostat	
			NACE	
Consumo Final	Industria	Industrias extractivas	-Mining and Quarrying -Consumption in oil, gas and coal extraction	5-6-7-8-9
		Alimentación	-Food and Tobacco	10-11-12
		Textil	-Textile and Leather	13-14-15
		Papel	-Paper, Pulp and Print	17-18
		Industria química	-Chemical and Petrochemical	20-21
		Minerales no metálicos	Non Metallic Minerals	23
		Metalurgia, siderurgia y metales no ferrosos	-Iron and Steel -Non Ferrous metals	24
		Maquinaria	-Machinery	25-26-27-28
		Equipos de transporte	-Transport Equipment	29-30
		Construcción	-Construction	41-42-43
		Industria de la madera	-Wood and Wood Products	16
		Sin especificar	-Non-specified Industry	22-31-32
	Servicios	Servicios	-Servicies	33-36-37-38-39-45-46-47-52-53-55-56-58-59-60-61-62-63-64-65-66-68-69-70-71-72-73-74-75-77-78-79-80-81-82-84-85-86-87-88-90-91-92-93-94-95-96-99
	Agricul.	Agricultura y pesca	-Agriculture/Forestry and -Fishing	1-2-3
	Residen	Residencial	-Residential	Renta Nacional disponible
	Transp	Transporte	-Transport	49-50-51



Transformación	Industria de la energía	Energía	-Difference between transformation input and output -Exchange, transfers, returns -Statistical differences -Distribution losses and consumption in energy sector (except extraction)	19-35
Usos no energéticos	Excluido del análisis			

Tabla 1. Relación entre consumos energéticos y valores añadidos brutos. Elaboración propia.

Pese a que las clasificaciones asociadas a los consumos provienen de la fuente de Eurostat, esta clasificación tiene una limitación importante que está relacionado con el nivel de detalle. El problema es que como puede observarse, las estadísticas sobre los consumos energéticos tienen un nivel de detalle menor que el respectivo valor añadido bruto, esto puede dar lugar a una confusión a la hora de interpretar un cambio en la intensidad energética del sector, ya que no puede identificarse si es un cambio en la eficiencia, o un cambio estructural de las subcategorías que abarca.

- *Valor añadido bruto:* Los datos del valor añadido bruto de los sectores industriales provienen de las cuentas nacionales del instituto nacional de estadística (INE, 2010). Pero esta recopilación de información está realizada en base 2010, por tanto si se compara con estudios anteriores puede arrojar resultados ligeramente distintos ya que una metodología distinta, por ejemplo la de 2008 aporta unos valores de valor añadido bruto ligeramente distintos. Por otra parte, estos resultados se proporcionan en precios corrientes de cada año, por lo que es necesario referenciar estos valores a precios constantes de un año para eliminar el ruido generado por la inflación.

Ahora bien, si se tiene en cuenta la variación del IPC como definición de inflación, se podría establecer como base de cálculo para pasar el valor añadido bruto a precios constantes de 1995, un ejemplo sería dividir dicho valor entre uno más la variación del IPC de un año respecto a 1995:



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Jan 96- Jan 11	Jan 96- Jan 12	Jan 96- Jan 13	Jan 96- Jan 14	Jan 96- Jan 15
49,8%	52,8%	59,1%	57,2%	55,1%

Tabla 2. Variación del IPC en España.

Pero lo cierto es que el IPC es una cesta representativa con una serie de productos determinados, por tanto, no incluye al conjunto total de la economía española. La alternativa usada consiste en el uso del deflactor del PIB español suministrado por World Bank, 2010, el cual elimina el efecto de la inflación.

Aunque parezca que los resultados podrían ser los mismos ya que el IPC puede ser muy representativo, en la Ilustración 18 se observa como los resultados varían en consideración entre los años 2003 y 2010. De hecho, si se referencia la evolución de la intensidad energética respecto al año 1995, como los valores de ambos en 1995 son iguales pero dispares en los años previos a la crisis, los resultados que se obtienen en esos años varían en consideración dependiendo del índice que se haya usado para eliminar la inflación del valor añadido bruto.

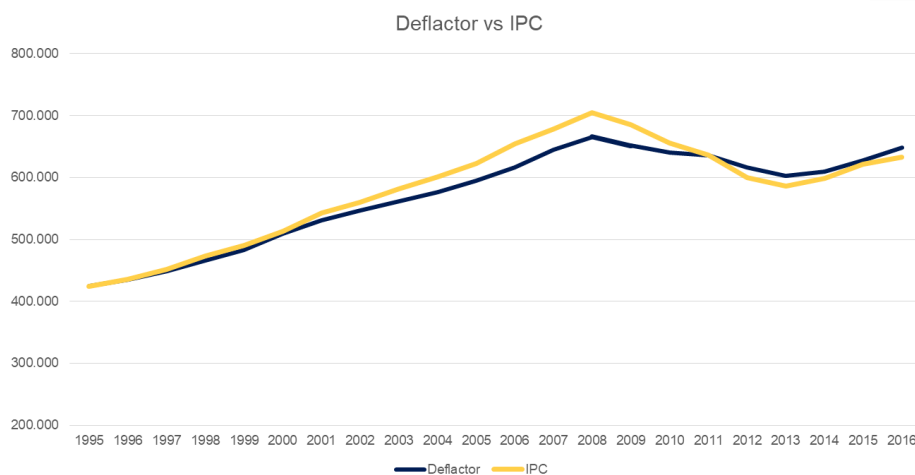


Ilustración 18. Diferencia en VAB total (IPC vs Deflactor)

Por otra parte, para el cálculo de la intensidad energética total no se ha empleado el valor del PIB sino del VAB total, siendo la diferencia entre estos dos que el segundo no incluye el grueso añadido por impuestos y servicios de intermediación financiera medidos indirectamente (SIFMI), los cuales no pueden ser asociados a ningún sector en concreto. Además, como se ha



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

indicado anteriormente, para el cálculo de la intensidad energética en el sector residencial se emplea la renta nacional disponible (INEb, 2010) para obtener un valor más aproximado sobre la capacidad de gasto de los hogares españoles, sin embargo, el uso de este input en vez del VAB total provocará cierto ruido que generará una pequeña diferencia entre la variación de la intensidad energética agregada y la variación calculada por medio de la adición de los factores en los que se descompone. De hecho, de acuerdo a la Ilustración 19 este residuo será mayor a partir del año 2007 donde aumenta la diferencia entre ambos valores, pero se capturaría mejor la verdadera evolución de la intensidad energética en el sector residencial.

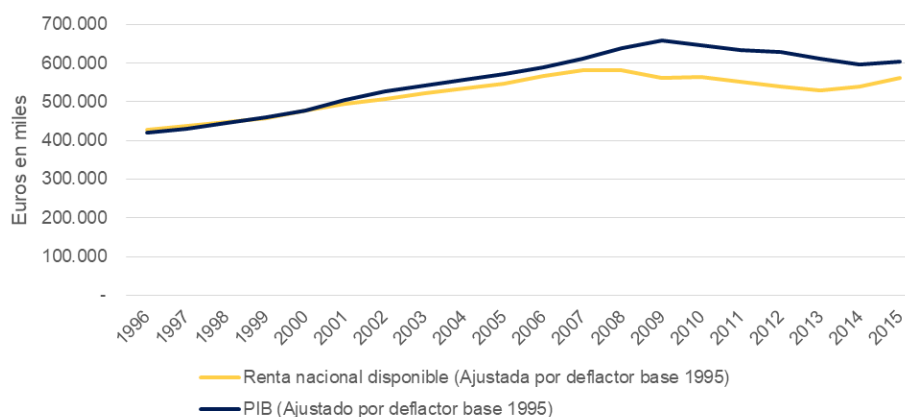


Ilustración 19. Comparación entre el VAB y la renta nacional disponible.

De hecho, al emplear la renta nacional disponible, se obtendrá una intensidad energética ligeramente mayor del consumo residencial mostrando el impacto más real que tuvo la crisis económica en el consumo residencial, reduciéndose respecto al PIB a partir del año 2008, como resultado de la crisis económica.

- *Emisiones de gases de efecto invernadero:* Los datos de las emisiones de gases de efecto invernadero se obtienen de las cuentas satélite de emisiones a la atmósfera del INE, sin embargo, en 2008 hay un cambio de criterio en la metodología empleada para la recopilación de la información. Antes de 2008 se recopilaban datos de los principales gases de efecto invernadero, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) por separado y no se agrupaban como una única medida de CO₂ equivalente. Sin embargo, a partir



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

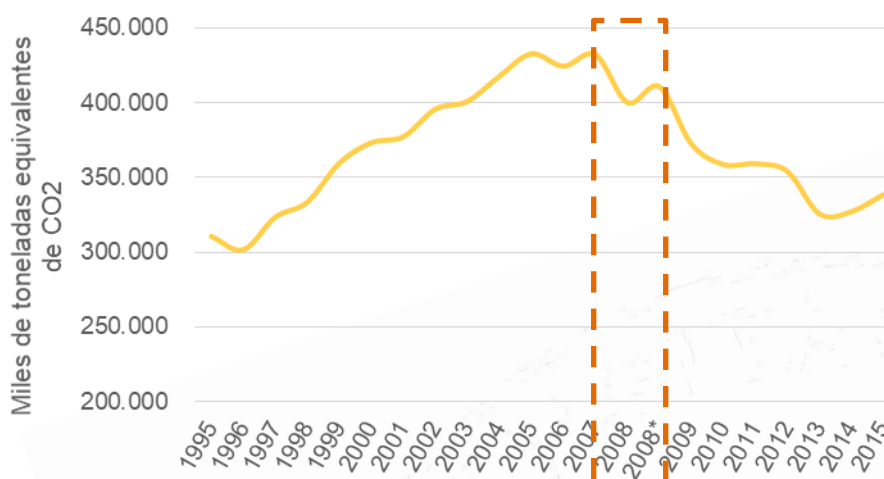
de 2008 sí que se realizó esta operación para homogenizar y hacer más comparable la información, por tanto, para solucionar este problema, se han empleado factores de conversión para el metano y el óxido nitroso.

*Potencial de calentamiento global de gases
de efecto invernadero (Fuente IEA)*

Metano	25
Óxido nitroso	298

Tabla 3. Factores de conversión de los gases de efecto invernadero.

El problema es que tras aplicar estos factores establecidos, existe una diferencia si se compara el año 2008, año común a ambas fuentes, como puede observarse en la siguiente ilustración.



Esta solución dificulta la comparación entre números absolutos, sin embargo, sí que permite analizar la tendencia llevada por cada sector industrial antes de la crisis económica de 2008 y después.

Además, se da otro cambio de criterio al clasificar las emisiones por sectores de actividad, antes de 2008 se emplea la versión 1 del NACE que aunque es similar a la segunda versión empleada a posteriori, existen algunas diferencias en algunos sectores que podrían generar ruido al comparar los datos de ambas series temporales. A día del presente informe, ni el INE ni Eurostat han publicado datos correspondientes a las



emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo anterior a 2008 clasificado según la segunda versión de NACE.

En el año 2015, los tres gases antes mencionados representaron el 97% de las emisiones de gases de efecto invernadero, el otro 3% se explica por la emisión de gases fluorados (HFC, PFC, SF₆).

Se trata de gases que, aunque sus emisiones son muy pequeñas, tienen factores de calentamiento global muy altos (entre 150 y 22.800). Estos gases han incrementado ostensiblemente su uso desde los años noventa debido a la prohibición del uso de clorofluorocarbonos e hidrofluorocarbonos (debido a que suponen una amenaza para la capa de ozono) sustituyéndolos en aplicaciones como los instrumentos de climatización, los aerosoles o las espumas de aislamiento.

Estos gases fluorados no se han tenido en cuenta en el análisis de la intensidad de emisiones ya que al comparar los resultados de las cuentas satélite de emisiones anteriores a 2008, estos se asignaban únicamente a tres industrias (Metalurgia, fabricación de equipamiento eléctrico e industria química) mientras que en la versión posterior a 2008 sus emisiones se distribuyen entre prácticamente todos los sectores productivos de la economía. De hecho llama la atención especialmente que si uno de sus principales usos es la climatización, no se asocie su consumo a ninguna subdivisión del sector servicios o los hogares antes de 2008. Por tanto, como la inclusión de estos gases generaría una distorsión en el análisis de la intensidad de emisiones de algunos sectores y su peso no es significativo en el total de emisiones, no se ha considerado para el análisis.

4.2 DESCOMPOSICIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA EN ESPAÑA

Como se ha indicado anteriormente, en este trabajo se estudia la intensidad energética final, es decir, incluyendo el impacto de los sectores transformadores, por tanto, podemos analizar la evolución del consumo de toda la energía primaria consumida en España.



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Al aplicar el método multiplicativo descrito en secciones anteriores a la intensidad energética total agregada en España podemos observar el siguiente resultado para el conjunto de la economía española:

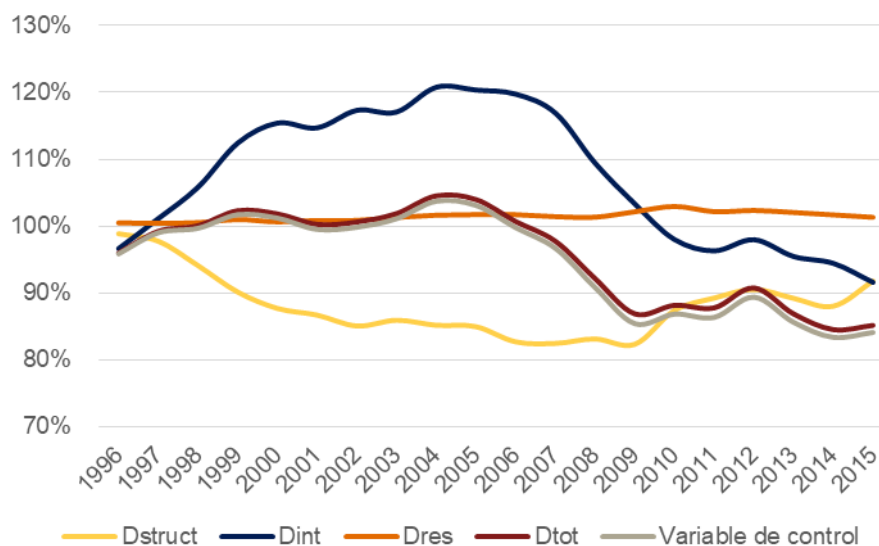


Ilustración 20. Descomposición de la intensidad energética total entre 1995 y 2015. Método Multiplicativo.

La Ilustración 20 debe interpretarse de la siguiente forma:

- La variación total de la intensidad energética para el periodo analizado (Dtot) surge como resultado de la multiplicación del efecto intrasectorial (Dint), el efecto estructural (Dstruct) y el efecto residencial (Dresid).
- La variable de control no es más que un cálculo simplificado agregado que consiste en el cálculo de la variación de la IE total calculada como el consumo total de energía entre el VAB de cada año, para demostrar, como se ha indicado en el apartado anterior, que el pequeño residuo que surge a partir de 2007 es motivo del uso de la renta nacional disponible para el cálculo del efecto residencial en vez del VAB de la economía española.

De la misma forma, este resultado puede mostrarse en modo aditivo simplificando así su entendimiento ya que pasa de ser una magnitud relativa a un ser un valor absoluto, tep/M€. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado al emplear este análisis en la forma aditiva, ya que dependiendo de qué base se esté utilizando



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

cómo cálculo de precios constantes, los resultados pueden ser distintos tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

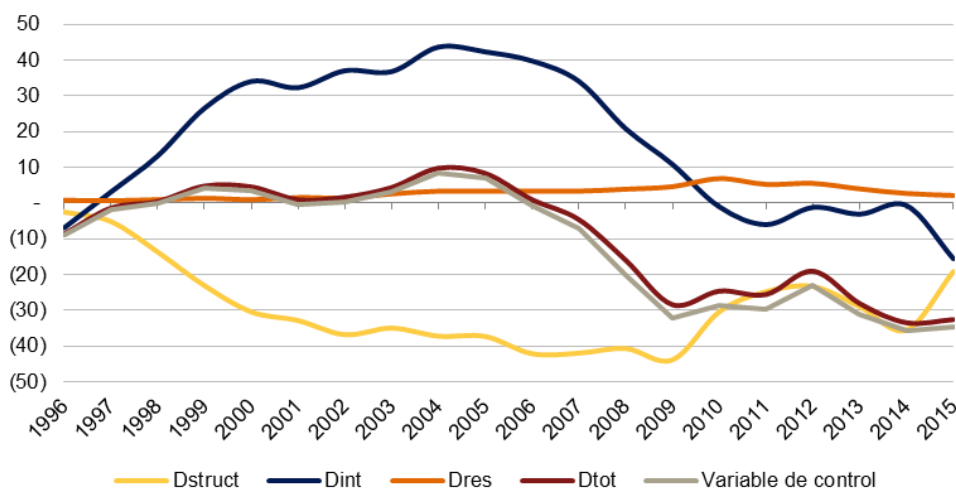


Ilustración 21. Descomposición de la intensidad energética total como precios constantes en base de 1995

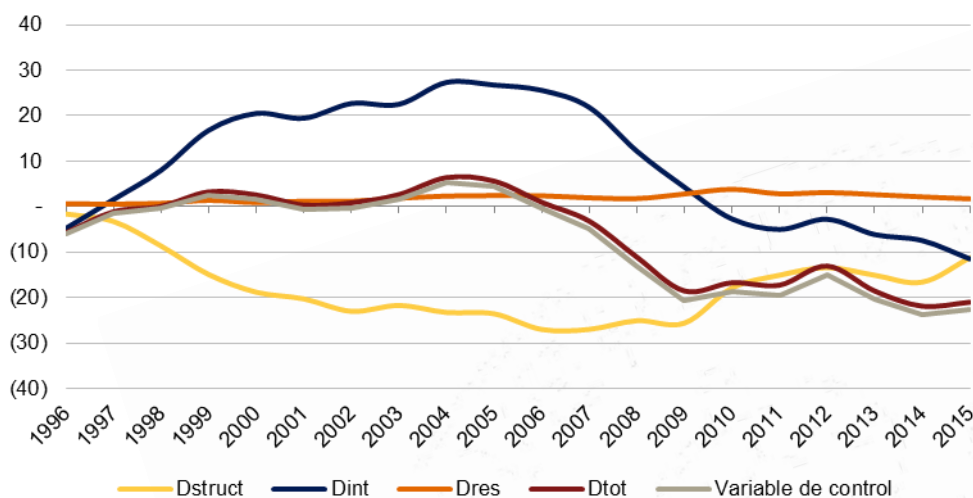


Ilustración 22. Descomposición de la intensidad energética total como precios constantes en base de 2015

De la misma forma que en el caso multiplicativo, la variable de control es una simple operación, la diferencia entre la intensidad energética de cada año con la referencia de 1995. Y al igual que antes, se genera un pequeño residuo al emplear el método de descomposición de índices debido a la utilización de la renta nacional disponible para



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

el cálculo de la componente residencial en lugar del VAB. La variación de la intensidad energética total respecto a 1995 se calcula como la suma de los efectos estructurales, intrasectoriales y residenciales en cada año.

A la vista de los resultados iniciales, se observa que la intensidad energética final se mantuvo estable hasta el año 2007, sin embargo, esto se debió a un cambio de la estructura económica española (Dstruct) que camufló la realidad de que el sistema productivo español estaba incrementando su componente intrasectorial, por lo que, o bien redujo su eficiencia energética o desplazó su industria hacia sectores más electro intensivos. Además, en la Ilustración 22, puede observarse que la intensidad energética en España alcanza un nivel máximo en 2004 para después iniciar una reducción en los años posteriores. Este hecho tiene lugar justo antes de iniciarse un incremento en los precios del petróleo (Ilustración 6) que lo llevo a máximos locales en 2008.

Bien, si ahora se profundiza más en la descomposición del índice y se analiza cada sector por separado con € en base de 2015, se puede ver el impacto en la intensidad energética total para el periodo comprendido entre 1995 y 2007 y 2015 para así cuantificar la incidencia de cada sector en la evolución de cada efecto. Pero se debe puntuar que los efectos de cada sector se calculan con relación al total, es decir, que lo que se muestra es el impacto que cada sector tiene en la intensidad energética agregada total.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Sector	Dstr (2007)	Dintr (2007)	Dres (2007)	Dtot (2007)	Dstr (2015)	Dintr (2015)	Dres (2015)	Dtot (2015)
Industrias extractivas	(0,11)	0,03	-	(0,08)	(0,37)	0,38	-	0,01
Alimentación y tabaco	(0,45)	(0,45)	-	(0,90)	(0,08)	(0,67)	-	(0,75)
Textil y cuero	(0,60)	(0,29)	-	(0,90)	(0,68)	(0,48)	-	(1,16)
Papel y artes gráficas	(0,46)	0,84	-	0,38	(1,08)	0,66	-	(0,42)
Industria química y petroquímica	(0,19)	(0,72)	-	(0,90)	0,22	(2,67)	-	(2,45)
Minerales no metálicos	(1,32)	2,13	-	0,81	(4,58)	1,59	-	(2,99)
Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos	(0,14)	(0,94)	-	(1,08)	(0,76)	(1,92)	-	(2,68)
Maquinaria	(0,00)	0,20	-	0,20	(0,16)	0,07	-	(0,09)
Equipos de transporte	(0,10)	0,01	-	(0,10)	(0,03)	(0,39)	-	(0,42)
Industria de la madera y derivados	(0,10)	0,61	-	0,51	(0,28)	0,50	-	0,22
Sin especificar	(0,26)	0,20	-	(0,06)	(0,64)	(0,98)	-	(1,62)
Industria (Sin construcción)	(4,06)	1,12	-	(2,94)	(6,08)	(6,26)	-	(12,34)
Construcción	0,09	0,09	-	0,18	(0,28)	0,92	-	0,64
Agricultura y pesca	(1,46)	0,97	-	(0,49)	(1,21)	0,42	-	(0,78)
Transporte	(9,50)	12,16	-	2,66	(3,37)	(2,46)	-	(5,82)
Servicios	0,41	1,74	-	2,15	1,20	2,51	-	3,72
Residencial	-	-	1,95	1,95	-	-	1,71	1,71
Producción energética	(12,50)	5,78	-	(6,72)	(1,49)	(6,64)	-	(8,13)
Total	(27,02)	21,85	1,95	(3,22)	(11,22)	(11,50)	1,71	(21,01)

Tabla 4. Desagregación de la intensidad energética en España entre 1995 y 2007 y 2015. (tep/M€ en base 2015).

De la misma forma que en el caso anterior, la variación de la intensidad energética total representada como Dtot se interpreta como la suma de los efectos estructura Dstr, el efecto intasectorial Dint y el efecto residencial Dres:

$$D_{tot} = D_{str} \cdot D_{int} \cdot D_{res}$$

Hasta el año 2007, la reducción del efecto estructural se explica principalmente por tres sectores, la industria (-4,16 tep/M€), el transporte (-19,50 tep/M€) y la producción energética (-11,32 tep/M€) y en menor medida la agricultura (-1,47 tep/M€) y las coquerías y refino de petróleo (-1,32 tep/M€). Esto va en línea con las teorías de desmaterialización explicadas anteriormente ya que a medida que las economías de los países desarrollados se desarrollan, el sector terciario, el cual es bastante menos intensivo, aumenta su peso en el producto interior bruto. En el caso de la construcción, su peso en la economía creció de forma proporcional al del producto interior bruto, manteniendo así un índice estructural estable. El sector servicios incrementó su componente estructural ligeramente en la intensidad energética como resultado de una mayor participación en la economía española.

Sin embargo, hasta 2007, toda esta reducción se ve compensada por un incremento en la componente intrasectorial. En el caso de la industria, aunque algunos de los sectores



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

más electro intensivos como la metalurgia y la siderurgia o la industria química reducen la componente intrasectorial de su intensidad energética (-0,95 tep/M€ y -0,73 tep/M€ respectivamente), existe un incremento debido a sectores como el de los minerales no metálicos (2,13 tep/M€), el papel (0,84 tep/M€) y la industria de la madera (0,61 tep/M€) donde la componente intrasectorial de la intensidad energética ha aumentado. En el caso de los minerales no metálicos y la madera su estrecha relación con el sector de la construcción y el buen devenir de este hasta 2007 puede establecer una relación que no obligara a dichos sectores a reconvertirse como si hicieron otros. Además, el sector de la producción energética muestra un aumento de 5,78 tep/M€ motivada por las coquerías y refinerías de petróleo ya que la entrada de las energías renovables seguía muy similar en 2007 respecto a 1995 en términos porcentuales respecto a la energía primaria (en torno al 3%).

Por otro lado, el transporte, al capturar también el consumo de los vehículos privados pero no producirse un aumento de dicho sector en el VAB presenta los mayores valores en términos de variación de intensidad energética (22,62 tep/M€).

Por último, el sector residencial ha incrementado ligeramente su componente (1,95 tep/M€) como resultado de un incremento de la renta per cápita de la población, tal y como se ha comentado en el apartado de las teorías de desmaterialización, el aumento del equipamiento doméstico, especialmente en materia de climatización residencial ha incrementado su aportación a la intensidad energética.

Una vez analizada la evolución desde 1995 hasta 2007, es posible simplificar la Tabla 5 para analizar el impacto de la crisis económica en la intensidad energética como la diferencia entre las componentes aditivas entre el año 2015 y el año 2007:



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Sector	Dstr (Var. 2015-2007)	Dintr (Var. 2015-2007)	Dres (Var. 2015-2007)	Dtot (Var. 2015-2007)
<i>Industrias extractivas</i>	(0,26)	0,36	-	0,10
<i>Alimentación y tabaco</i>	0,37	(0,21)	-	0,15
<i>Textil y cuero</i>	(0,08)	(0,19)	-	(0,26)
<i>Papel y artes gráficas</i>	(0,61)	(0,18)	-	(0,80)
<i>Industria química y petroquímica</i>	0,40	(1,95)	-	(1,55)
<i>Minerales no metálicos</i>	(3,26)	(0,54)	-	(3,80)
<i>Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos</i>	(0,63)	(0,97)	-	(1,60)
<i>Maquinaria</i>	(0,16)	(0,13)	-	(0,28)
<i>Equipos de transporte</i>	0,07	(0,40)	-	(0,32)
<i>Industria de la madera y derivados</i>	(0,18)	(0,11)	-	(0,29)
<i>Sin especificar</i>	(0,38)	(1,19)	-	(1,56)
Industria(Sin construcción)	(2,02)	(7,38)	-	(9,40)
Construcción	(0,36)	0,83	-	0,47
Agricultura y pesca	0,25	(0,55)	-	(0,30)
Transporte	6,13	(14,61)	-	(8,48)
Servicios	0,79	0,78	-	1,57
Residencial	-	-	(0,24)	(0,24)
Produccion energética	11,01	(12,42)	-	(1,41)
Total	15,80	(33,35)	(0,24)	(17,79)

Tabla 5. Desagregación de la intensidad energética en España entre 2007 y 2015. (tep/M€ en base 2015).

A la vista de los resultados mostrados en la Tabla 7, puede observarse que la crisis económica de 2008 supuso un cambio en la evolución de la intensidad energética. Los efectos de las tres componentes han cambiado de signo respecto al periodo 1995-2007 y como resultado se ha producido una reducción de la intensidad energética de 17,8 tep/M€ mientras que entre 1995 y 2007 esta redujo solamente 3,2 tep/M€.

Si se analiza cada componente por separado, se observa que la componente estructural se ve reducida en la industria (-2,02 tep/M€) y la construcción (-0,36 tep/M€) en menor medida debido a que la contracción del producto interior bruto ha sido principalmente por el peso que ha perdido la construcción en la economía favoreciendo así a otros sectores. De hecho, la reducción de la componente estructural en la industria viene explicada principalmente por la industria de los minerales no metálicos (-3,6 tep/M€) que comprende productos como el cemento o el ladrillo, estrechamente relacionados con la construcción.

La componente estructural del sector del transporte presenta un incremento de 6,13 tep/M€ motivado por dos factores, por un lado la crisis económica supuso un colapso de la demanda interna que motivo a las empresas españolas a buscar el mercado exterior y como resultado, las exportaciones crecieron desde €185.000M en 2007 a



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

284.000M€ en 2015. Además, motivado principalmente por los nuevos hábitos de consumo, el sector de la logística ha experimentado un fuerte crecimiento en España en los últimos años.

Por último, la producción energética incrementó su efecto en la intensidad energética agregada por su componente estructural 11,01 tep/M€, este mayor peso en la economía española viene motivado por el plan de incentivos a las renovables puesto en marcha antes de la crisis económica que al atraer una fuerte inversión en este sector incremento su peso en la economía. Además, la disponibilidad de la energía solar o térmica (unas 2500 horas anuales) comparada con la disponibilidad de cualquier planta tradicional térmica (unas 8000 horas anuales) genera un mayor coste de inversión, aumentando así su componente estructural.

Desde un punto de vista intrasectorial, todos los sectores han reducido su intensidad energética a excepción de la construcción (+0,83 tep/M€) motivado por una reestructuración actual del sector debido a la contracción del mercado y el sector servicios que mantiene su tendencia del periodo anterior e incrementa ligeramente su intensidad energética intrasectorial (+0,78tep/M€).

En el ámbito industrial, dos de los sectores más electro intensivos, la metalurgia y la siderurgia, y la industria química y petroquímica continuaron la tendencia llevada a cabo en el periodo 1995-2007 y redujeron su intensidad energética debido a la componente intrasectorial 0,97 tep/M€ y 1,95 tep/M€ respectivamente motivado por mejoras en las medidas de eficiencia energética al sustituir los combustibles tradicionales por electricidad.

La reducción de la componente intrasectorial de 14,61 tep/M€ representa casi el 50% de la mejora de la intensidad energética total, sin embargo, al incluirse consumos tanto de transporte privado como de pasajeros y mercancías, resulta complicado identificar con qué se corresponde esta mejora.

El sector residencial reduce ligeramente su intensidad energética (-0,24 tep/M€) tras su incremento anterior motivado por la reducción de la renta per cápita derivado de la coyuntura económica.



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Por último, la reducción de la componente sectorial energética (-12,42 tep/M€) se explica por un cambio en la estructura del mix energético que ha experimentado España en los últimos años desde el inicio del programa de incentivos a las renovables y motivado por los avances tecnológicos en la producción de energía renovable.

Balance de energía primaria de 2007 por fuente energética de España (Fuente AIE)

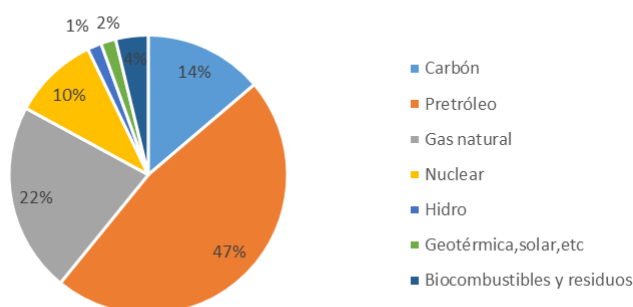


Ilustración 23. Balance de energía primaria de 2007 por fuente energética de España (Fuente AIE)

Balance de energía primaria de 2015 por fuente energética de España (Fuente AIE)

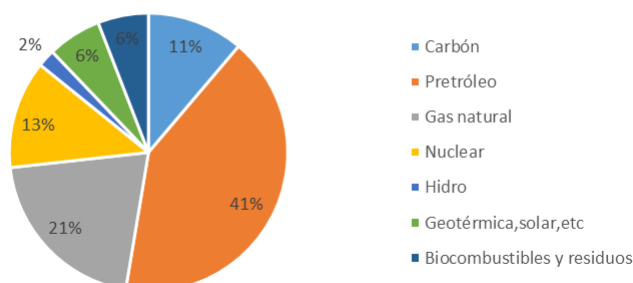


Ilustración 24. Balance de energía primaria de 2015 por fuente energética de España (Fuente AIE)

Esto se explica por la eficiencia energética de las tecnologías empleadas, como puede observarse en la siguiente tabla, la eficiencia de la transformación de las distintas fuentes puede hacer variar la intensidad energética. En el caso de España, un mayor uso de las energías renovables es compensado con una reducción del uso de productos derivados del petróleo ha reducido la componente intrasectorial de la producción energética entre 2007 y 2015.



Factores de eficiencia en la producción eléctrica (Fuente IEA)

Carbón	36%
Derivados del petróleo	40%
Gas natural	56%
Energía nuclear	33%
Energía hidráulica	100%
Energía solar y eólica	100%
Biomasa	33%

Tabla 6. Factores de eficiencia en la generación eléctrica.

Este efecto dificulta la comparación de intensidades energéticas entre países, ya que existen casos como Francia o Islandia donde gran parte de la generación es nuclear e hidráulica respectivamente, con factores de eficiencia muy dispares.



4.3 DESCOMPOSICIÓN DE LA INTENSIDAD DE EMISIONES EN ESPAÑA

Una vez analizado con análisis matemáticos detallados la evolución de la intensidad energética y cuales han sido los sectores que más han contribuido a su evolución tanto en términos estructurales como intrasectoriales, se puede analizar la tendencia llevada a cabo por la intensidad de emisiones para comprobar el impacto que tuvo la crisis económica. De la misma forma que en el apartado anterior, si visualizamos en primer lugar la descomposición del índice en forma multiplicativa podemos ver qué peso tuvo cada componente:

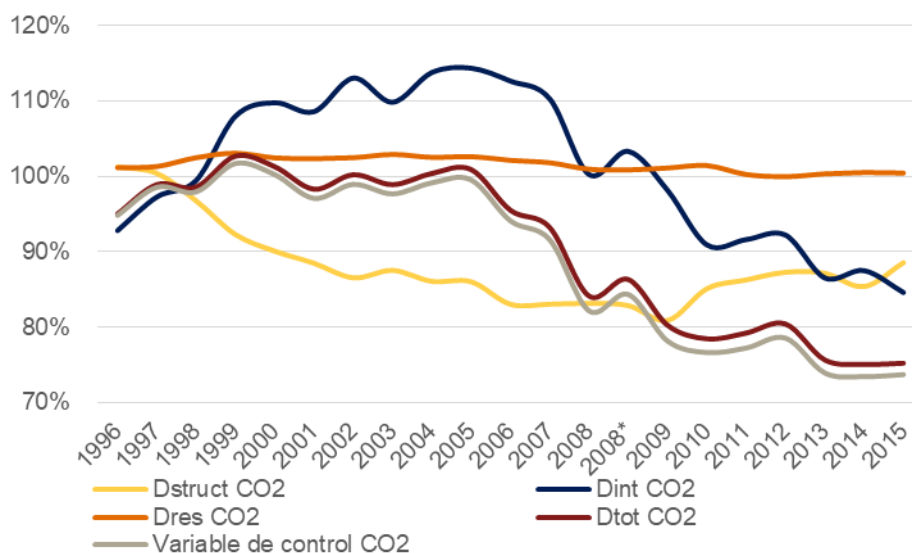


Ilustración 25. Descomposición de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta gráfica debe interpretarse de la misma forma que la mostrada relativa a la descomposición multiplicativa en la sección anterior, la variación total de la intensidad energética para el periodo analizado (D_{tot}) surge como resultado de la multiplicación del efecto intrasectorial (D_{int}), el efecto estructural (D_{struct}) y el efecto residencial (D_{resid}).

De la misma forma que en el caso de la intensidad energética, la diferencia entre la variable de control y la componente D_{tot} calculada proviene del uso de la renta nacional disponible en el cálculo de la componente residencial para capturar un efecto



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

más realista del impacto de la crisis económica en esta variable. Además se ha incluido un año más, 2008*, el cual se corresponde con el cambio en la metodología de las cuentas satélite de emisiones, es decir, 2008 se corresponde con la versión previa a 2008 mientras para el cálculo de 2008* se han utilizado las emisiones mostradas en la versión posterior. A la vista de los resultados mostrados en la Ilustración 25, se observa que el salto mostrado afecta a la componente intrasectorial y no a la componente residencial. De hecho, esta variación se corresponde con una reclasificación de las emisiones de otros sectores en el sector del transporte (+4%).

<i>Comparativa de los porcentajes de participaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero por sectores</i>		
	<i>2008</i>	<i>2008*</i>
Industria	22%	23%
Construcción	1%	1%
Agricultura y pesca	12%	11%
Transporte	9%	13%
Servicios	9%	7%
Residencial	19%	18%
Producción energética	28%	27%

Tabla 7. Porcentajes de participación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Si ahora se comparan los resultados obtenidos con el análisis de la intensidad energética, puede observarse una tendencia muy similar, si bien, las variables de consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero están estrechamente relacionadas por el mix energético que se emplea. La intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero se mantuvo alrededor de los valores de 1995 hasta 2006, pero debido a un equilibrio entre la componente estructural y la componente intrasectorial. Es decir, la componente estructural motivo una reducción de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero debido a que los sectores menos contaminantes incrementaron su peso en la economía pero la realidad es que el tejido productivo español incrementó sus emisiones por sector, explicado por el incremento de hasta un 14% de esta componente, alcanzando su máximo en 2004 y 2005.



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Ahora este resultado puede mostrarse en modo aditivo simplificando así su entendimiento pasando de ser una magnitud relativa a un ser un valor absoluto, tCO₂eq/M€..

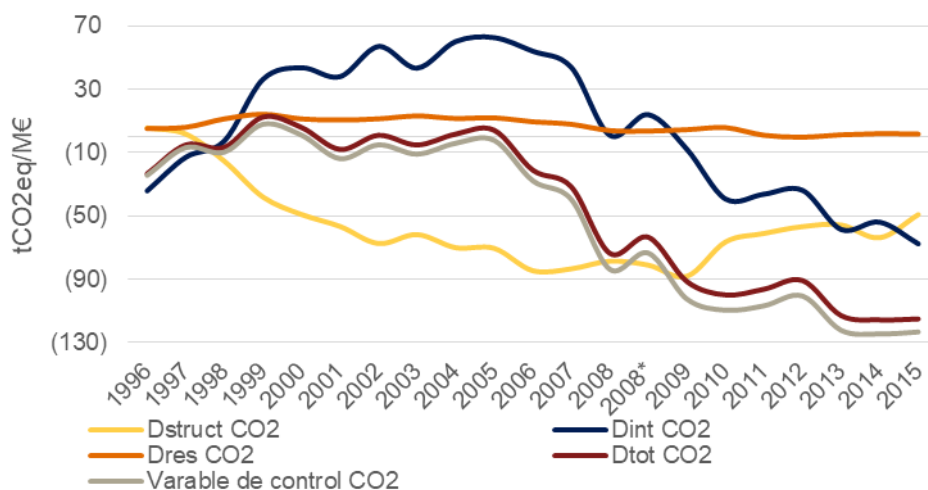


Ilustración 26. Descomposición de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en base a precios de 2015.

De la misma forma que en el caso multiplicativo, la variable de control es una simple operación, la diferencia entre la intensidad de emisiones de cada año con la referencia de 1995. Y al igual que antes, se genera un pequeño residuo al emplear el método de descomposición de índices debido a la utilización de la renta nacional disponible para el cálculo de la componente residencial en lugar del VAB. La variación de la intensidad de emisiones total respecto a 1995 se calcula como la suma de los efectos estructurales, intrasectoriales y residenciales en cada año.

Para profundizar en el análisis de cada sector, se muestra a continuación en la siguiente tabla la descomposición de cada sector por separado con € en base de 2015, para así ver el impacto en la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo comprendido entre 1995 y 2007 y 2015 y así cuantificar la incidencia de cada sector en la evolución de cada efecto.



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Sector	Dstr (2007)	Dintr (2007)	Dres (2007)	Dtot (2007)	Dstr (2015)	Dintr (2015)	Dres (2015)	Dtot (2015)
Industrias extractivas	(1,05)	(1,10)	-	(2,16)	(2,43)	(1,11)	-	(3,54)
Alimentación y tabaco	(0,94)	(0,02)	-	(0,95)	(0,20)	(1,32)	-	(1,52)
Textil y cuero	(1,71)	1,39	-	(0,32)	(1,21)	(0,81)	-	(2,03)
Papel y artes gráficas	(1,13)	0,50	-	(0,63)	(2,04)	0,08	-	(1,95)
Industria química y petroquímica	(0,74)	(3,52)	-	(4,26)	0,71	(3,27)	-	(2,56)
Minerales no metálicos	(14,61)	8,78	-	(5,83)	(39,90)	11,41	-	(28,50)
Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos	(2,53)	(0,07)	-	(2,60)	(2,10)	(3,05)	-	(5,14)
Maquinaria	(0,02)	(0,12)	-	(0,13)	(0,25)	1,12	-	0,87
Equipos de transporte	(0,38)	0,03	-	(0,35)	(0,09)	(0,97)	-	(1,06)
Industria de la madera y derivados	(0,23)	0,17	-	(0,05)	(0,62)	0,47	-	(0,15)
Sin especificar	(0,26)	0,10	-	(0,16)	(0,40)	0,02	-	(0,38)
Industria(Sin construcción)	(18,23)	0,78	-	(17,45)	(22,47)	(23,49)	-	(45,95)
Construcción	1,03	(0,38)	-	0,65	(1,20)	(3,10)	-	(4,29)
Agricultura y pesca	(25,36)	9,38	-	(15,97)	(22,94)	2,99	-	(19,95)
Transporte	(7,95)	11,43	-	3,48	(3,08)	7,81	-	4,73
Servicios	2,31	(2,96)	-	(0,65)	4,63	(11,92)	-	(7,29)
Residencial	-	-	7,95	7,95	-	-	1,68	1,68
Producción energética	(35,23)	25,66	-	(9,58)	(4,09)	(39,93)	-	(44,02)
Total	(83,42)	43,91	7,95	(31,56)	(49,15)	(67,63)	1,68	(115,10)

Tabla 8. Desagregación de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España entre 1995 y 2007 y 2015. (tCO₂eq/M€ en base 2015).

De la misma forma que en el caso anterior, la variación de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero representada como D_{tot} se interpreta como la suma de los efectos estructura D_{str}, el efecto intrasectorial D_{int} y el efecto residencial D_{res}:

$$D_{tot} = D_{str} \cdot D_{int} \cdot D_{res}$$

Como puede observarse, al igual que en el caso de la intensidad energética total, todos los sectores a excepción de la construcción y el sector servicios redujeron su componente estructural entre 1995 y 2007. Sin embargo, existen diferencias respecto a la intensidad energética.

Por un lado, el efecto estructural de los minerales no metálicos (-14,61 tCO₂eq/M€) y del sector de la metalurgia y la siderurgia (-2,53 tCO₂eq/M€) es mayor respecto al efecto total de la industria que en el caso de la intensidad energética total, ya que estos sectores además de ser más electro intensivos son más intensos en emisiones de gases de efecto invernadero (Los minerales no metálicos triplican la intensidad de emisiones de la metalurgia y la siderurgia). Llama la atención el hecho de que el sector de la Agricultura y la pesca supone un 30% (-25,36 tCO₂eq/M€) de la reducción por el efecto estructural, a diferencia de la intensidad energética, donde estaba alrededor del 5% entre 1995 y 2007. Esto se debe a que su porcentaje de emisiones respecto al total es mucho mayor en la emisión de gases de efecto invernadero (13% de media) que en



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

el consumo energético (2% de media), por tanto las variaciones en el peso de la economía tendrá un impacto mayor en el índice agregado de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Puede observarse la importancia del análisis de los sectores transformadores (Consumo de energía primaria frente a energía final) ya que al igual que en el caso de la intensidad energética, el sector transformador tiene un peso muy importante en la reducción de la componente estructural (-35,23 tCO₂eq/M€).

Sin embargo, al analizar la componente intrasectorial, se observa que ninguno de los sectores productivos que redujo su intensidad de emisiones debido al efecto estructural hizo lo mismo con su componente intrasectorial. Es decir, que pese a los intentos y la concienciación social de los efectos derivados de la emisión de gases de efecto invernadero, la industria no desarrolló mejoras tecnológicas para reducirlas entre 1995 y 2007.

Pero si profundizamos más en el sector de la industria, podemos observar que este incremento en la componente intrasectorial de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero viene explicado en gran medida por el sector de los minerales no metálicos (8,78 tCO₂eq/M€), muy ligado a la construcción, y, en menor medida, el sector textil (1,39 tCO₂eq/M€). Este efecto fue parcialmente compensado por el caso de la industria química (-3,52 tCO₂eq/M€), otro sector electro intensivo que sí redujo sus emisiones en sus procesos productivos debido a la sustitución de combustibles primarios por electricidad y la penetración del gas natural en sustitución del carbón y los productos petrolíferos.

De la misma forma, la agricultura y la pesca incrementaron su intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero debido al efecto intrasectorial (9,38 tCO₂eq/M€) potenciado por una mayor automatización y un mayor uso de equipamiento pesado en los procesos productivos entre 1995 y 2007.

En el caso del transporte, que a diferencia del consumo energético, no incluye el transporte privado, la componente intrasectorial de la intensidad de emisiones incrementó 11,43 tCO₂eq/M€ entre 1995 y 2007, un 25% del incremento total, debido a un incremento de la demanda de movilidad de pasajeros y mercancías motivada por



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

el crecimiento de la economía, sumado al desarrollo de la red ferroviaria y de carreteras en España.

La producción energética incrementó su componente intrasectorial de la intensidad de emisiones en 25,66 tCO₂eq/M€ entre 1995 y 2007 debido principalmente a una electrificación del consumo de energía final (sector industrial, transporte y residencial).

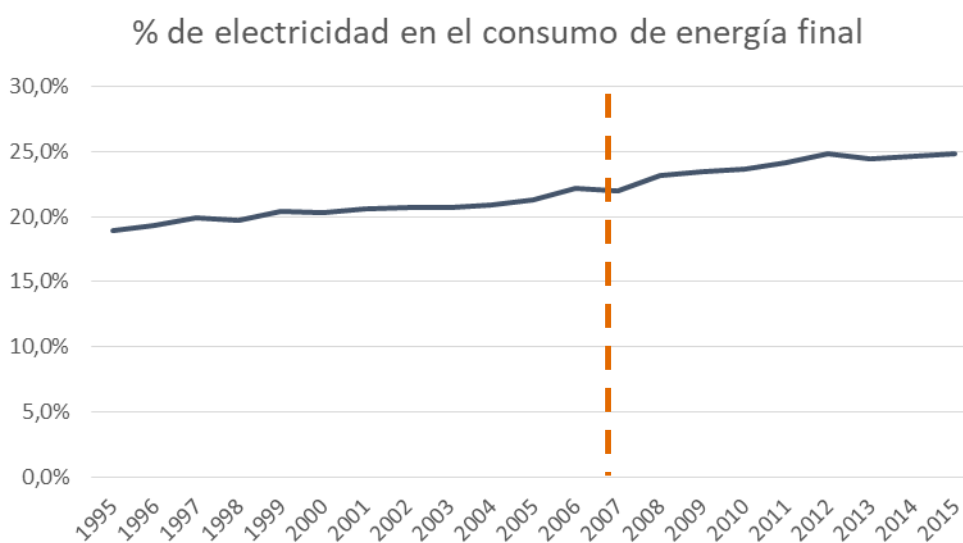


Ilustración 27. Porcentaje de electricidad en el consumo de energía final.

Es decir, al sustituir el consumo de combustibles como el gas o los derivados del petróleo por energía eléctrica, estas emisiones se trasladan al sector eléctrico, que, en el caso Español, al no haber una penetración de las energías renovables considerable entre 1995 y 2007, supone un incremento de la componente intrasectorial de la intensidad de emisiones.

Por último, el sector residencial presenta un fuerte incremento en su intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (7,95 tCO₂eq/M€) motivado por una mejora de la calidad de vida y un incremento de la renta per cápita. Como resultado de mayores ingresos de los hogares españoles, aumentan los sistemas de climatización en los hogares y el uso del vehículo privado para los desplazamientos que, como puede observarse en la siguiente ilustración, unido a una etapa de crecimiento de la población



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

genera un salto en la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero de los hogares españoles.

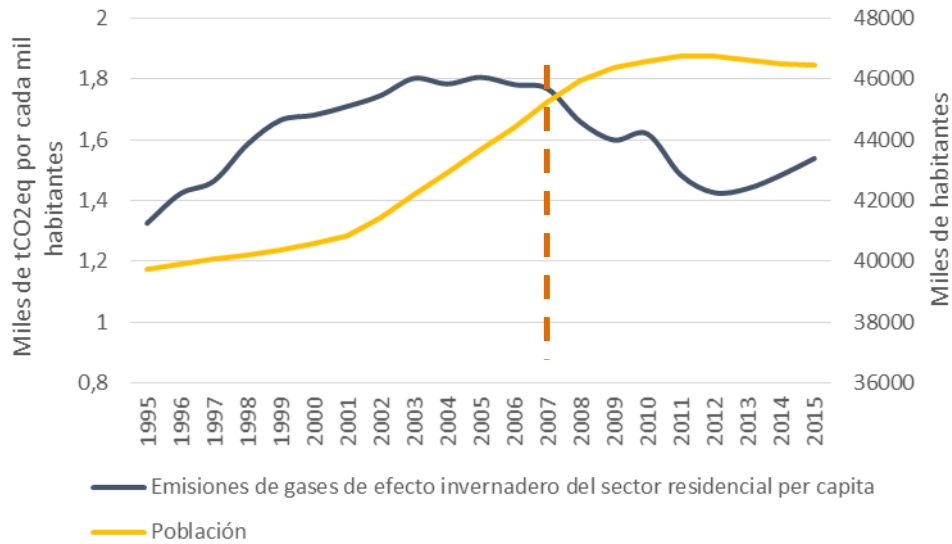


Ilustración 28. Emisiones de gases de efecto invernadero per cápita frente a la población en España.

De la misma forma que cuando se ha analizado la intensidad energética en el apartado anterior, es posible simplificar la Tabla 5 para analizar el impacto de la crisis económica en la intensidad energética como la diferencia entre las componentes aditivas entre el año 2015 y el año 2007:



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

Sector	Dstr (Var. 2015-2007)	Dintr (Var. 2015-2007)	Dres (Var. 2015-2007)	Dtot (Var. 2015-2007)
Industrias extractivas	(1,37)	(0,01)	-	(1,38)
Alimentación y tabaco	0,74	(1,30)	-	(0,56)
Textil y cuero	0,50	(2,21)	-	(1,70)
Papel y artes gráficas	(0,91)	(0,41)	-	(1,32)
Industria química y petroquímica	1,45	0,25	-	1,70
Minerales no metálicos	(25,30)	2,63	-	(22,67)
Metalurgia, siderurgia y Metales no ferrosos	0,43	(2,98)	-	(2,55)
Maquinaria	(0,23)	1,23	-	1,00
Equipos de transporte	0,29	(1,00)	-	(0,71)
Industria de la madera y derivados	(0,39)	0,30	-	(0,09)
Sin especificar	(0,14)	(0,08)	-	(0,23)
Industria(Sin construcción)	(4,24)	(24,27)	-	(28,50)
Construcción	(2,23)	(2,72)	-	(4,95)
Agricultura y pesca	2,42	(6,39)	-	(3,97)
Transporte	4,87	(3,62)	-	1,25
Servicios	2,31	(8,96)	-	(6,64)
Residencial	-	-	(6,27)	(6,27)
Produccion energética	31,14	(65,58)	-	(34,44)
Total	34,27	(111,53)	(6,27)	(83,53)

Ilustración 29. Desagregación de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España entre 2007 y 2015. (tCO₂eq/M€ en base 2015).

Inicialmente se observa un punto de inflexión en la tendencia llevada por las componentes de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, todos los sectores reducen su componente intrasectorial como resultado de una mejora en sus procesos productivos, especialmente el sector de la energía, motivado por el incremento de las energías renovables en el mix energético, mientras que desde un punto de vista estructural, un mayor peso este sector en la economía incrementa el indicador agregado de la intensidad de emisiones.

Con la crisis económica en 2008, la reducción de la componente estructural (-34,27 tCO₂eq/M€) se explica principalmente por la reducción en la construcción (-2,23 tCO₂eq/M€) y los subsectores industriales relacionados con esta (-25,30 tCO₂eq/M€) debido a un proceso de reestructuración llevado a cabo en el sector de la construcción y sus dependientes.

Por otro lado, siguiendo la misma evolución que la intensidad energética, la componente estructural del sector del transporte y del sector servicios incrementa 4,87 tCO₂eq/M€ y 2,31 tCO₂eq/M€ respectivamente como resultado de un desarrollo de la infraestructura y del sector del transporte de mercancías, una desmaterialización de la



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

economía potenciada desde 2008 con la crisis económica y un incremento de la actividad turística que ha pasado a ser un sector clave en la economía. Finalmente, el sector transformador aumenta su componente estructural 31,14 tCO₂eq/M€, siendo, al igual que en el análisis de la intensidad energética el sector más influyente en el indicador agregado debido a los planes de incentivos y el desarrollo del sector de las energías renovables en España.

Desde un punto de vista intrasectorial, todos los sectores han reducido su participación en la intensidad de emisiones, en algunos casos como la industria o el sector agrícola potenciados en parte por la sustitución de combustibles tradicionales por electricidad en los procesos productivos que son transmitidos al sector energético, pero que en este caso, al mejorar su factor eficiencia conjunto en 2015 respecto a 2007 debido al incremento de las energías renovables, supone una reducción en el índice agregado.

De la misma forma como resultado de una mejora en la eficiencia de los nuevos vehículos empleados en los medios de transporte de mercancías y pasajeros, se produce una reducción en la componente intrasectorial de este sector de -3,62 tCO₂eq/M€.

La componente intrasectorial del sector servicios presenta una reducción de -8,96 tCO₂eq/M€ que, en este caso, si se tiene en cuenta la limitación de este sector en la descarbonización debido a que su abastecimiento energético proviene principalmente de la electricidad, se explica por una mejora en la gestión de la demanda y mejoras de eficiencia energética en los edificios y los sistemas de climatización.

Por último, el sector residencial compensa parcialmente su incremento en el periodo previo a la coyuntura económica con una reducción de -6,27 tCO₂eq/M€. Esta reducción, al igual que en el sector del transporte puede explicarse en parte por las mejoras de eficiencia energética en el transporte privado, sumado a los planes gubernamentales de mejoras de eficiencia energética en los edificios y junto con campañas comerciales llevadas a cabo para la reducción del consumo energético en los hogares.

A la vista de los resultados obtenidos, se observa que, debido a la estrecha relación entre ambas variables, la tendencia llevada a cabo por la intensidad de emisiones de



Aplicación del método de descomposición de índices al caso de España

gases de efecto invernadero es muy similar a la intensidad energética tal y como puede observarse en la siguiente ilustración expresada en forma multiplicativa.

Sector	1995-2007		2007-2015	
	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)	Dtot IE (%)	Dtot CO2 (%)
Industria(Sin construcción)	(2,7%)	(3,8%)	(6,5%)	(7,2%)
Construcción	0,1%	0,1%	0,4%	(1,2%)
Agricultura y pesca	(0,3%)	(3,5%)	(0,3%)	(1,4%)
Transporte	1,7%	0,8%	(6,0%)	0,4%
Servicios	1,6%	(0,1%)	1,3%	(1,6%)
Residencial	1,4%	1,8%	(0,1%)	(1,3%)
Produccion energética	(3,9%)	(2,1%)	(2,2%)	(8,4%)
Total	(2,3%)	(6,8%)	(12,9%)	(19,3%)

Sin embargo existen algunas diferencias:

- El sector de la agricultura y la pesca tiene mayor influencia en la intensidad de gases de efecto invernadero que en la intensidad energética derivado del uso de fertilizantes y la gestión de la cabaña ganadera.
- El sector de los minerales no metálicos, estrechamente relacionado con la construcción, tiene un impacto mucho mayor en el indicador agregado de la intensidad de emisiones que en la intensidad energética.



Capítulo 5 CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el presente informe se ha introducido un marco teórico de la evolución del consumo energético frente al desarrollo económico. Inicialmente, en términos de magnitudes agregadas, la aplicación de dichas teorías a España y los países de su entorno económico ha demostrado que, aunque en los últimos años el desarrollo de la intensidad energética de la mayoría de países ha evolucionado en línea con estas teorías creciendo de una forma más energéticamente eficiente, el desarrollo de la intensidad energética como indicador agregado en España es una excepción hasta poco antes de la crisis económica de 2008.

De la misma forma, la evolución de la intensidad energética puede verse afectada por diversos factores como la estructura de la economía (sectores menos electro intensivos), mejoras en procesos y avances tecnológicos (energéticamente más eficientes), los combustibles empleados y su precio (existe una alta dependencia de los combustibles fósiles), el efecto saturación, las preferencias y la distribución de la población o incluso el clima. Por otro lado, existe una estrecha relación entre la intensidad energética y la intensidad de emisiones que depende de las fuentes energéticas empleadas para abastecer el consumo energético.

Pero este análisis presenta limitaciones, debido especialmente a la falta de homogeneidad en las bases de datos existentes. Por un lado, los datos sobre consumos energéticos publicados por Eurostat alcanzan un nivel de detalle mucho menor que el mostrado en el desglose del PIB, y por otro, para uno de los sectores con más peso en términos de consumo energético, el transporte, no se publican estadísticas acerca de qué parte corresponde al consumo privado y qué parte al transporte de mercancías y pasajeros. Además, en relación a los datos de emisiones de gases de efecto invernadero, desde 2008 se ha cambiado la metodología dificultando así el análisis comparativo.



Más allá de estas limitaciones, el análisis llevado a cabo muestra que la intensidad energética en España se redujo ligeramente (-2,3%) entre 1995 y 2007 pero motivado por cambios estructurales en la economía, donde el sector del transporte y la producción energética, dos de los sectores con mayores intensidades energéticas vieron reducido su porcentaje de participación. El sector de la metalurgia, la siderurgia y la industria química redujeron su aportación a la intensidad energética en este periodo explicado por la sustitución de carbón y derivados del petróleo por electricidad y gas en sus procesos productivos, transmitiendo parte de la reducción al sector energético que aumento su componente sectorial. El sector de los minerales no metálicos, estrechamente ligado con la construcción, aumento su aportación a la intensidad energética explicada por el aumento de la demanda que experimentó este sector hasta la coyuntura económica. El aumento de la población y el poder adquisitivo de los españoles motivó un aumento del transporte privado y un aumento del equipamiento domestico que incremento la aportación al indicador agregado de sectores como el transporte o el residencial.

La intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero, siguió una trayectoria muy similar (-6,8%) a la intensidad energética hasta 2007. Dicha reducción se debió a una reducción de la componente estructural de los sectores más intensivos como los minerales no metálicos, la agricultura o la producción energética mientras que incrementaron su aportación sectorial al indicador agregado de la intensidad de emisiones. El sector residencial incrementó su componente como resultado de mayores ingresos de los hogares españoles derivando en un incremento del equipamiento doméstico y del uso del vehículo privado para los desplazamientos.

Sin embargo, entre 2007 y 2015, la evolución tanto de la intensidad energética final como de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero revertió la tendencia seguida antes del inicio de la crisis económica y redujo ambas intensidades (-12,9% y -19,3% respectivamente). En el ámbito de la intensidad energética final, el sector transformador incrementó su componente estructural debido al aumento de la inversión en el sector de las renovables motivado por los incentivos a estas, que a su vez redujeron su componente sectorial al incrementar su presencia en el mix energético. Por otro lado el aumento de las exportaciones incrementó la componente



estructural del sector del transporte. A su vez, la industria redujo su componente estructural debido al impacto que tuvo la crisis en los minerales no ferrosos mientras que al igual que antes de la crisis, la metalurgia y el sector químico mejoraron su componente sectorial mediante la electrificación de sus procesos productivos. En el ámbito residencial, el incremento de su aportación al índice agregado de la intensidad energética que experimentó antes de la crisis económica muestra un cambio de tendencia tras la coyuntura económica motivado por la reducción de la renta per cápita en este periodo.

El sector servicios mantuvo la misma tendencia durante todo el periodo analizado debido a que su actividad económica se concentra en las ramas más intensivas dentro del sector, la hostelería y el comercio, estrechamente relacionadas con el turismo, por lo que la componente sectorial de su intensidad energética incremento tanto antes como después de la crisis económica.

Por último, destacar que, de forma visual, si se observan las componente estructural e intrasectorial de la intensidad energética y la intensidad de emisiones de gases de efecto durante los dos o tres últimos años del periodo analizado, se observa un punto de inflexión en la componente estructural, condicionando así la evolución de estos indicadores a corto y medio plazo.

Pero en el futuro, la penetración del vehículo eléctrico tendrá un papel clave para reducir la intensidad energética de España si se logra una penetración de las renovables en el sector de la producción energética, porque si no, esa reducción simplemente se transferiría de sector. Además, sumado al hecho de que el sector de la infraestructura en España ya está bastante desarrollado, el consumo de los sectores electro intensivos relacionados con este verán reducida su intensidad energética ya que será destinado al mantenimiento y el desarrollo y no a la construcción de este. Por último, el hecho de que España se sitúa en un clima templado limitara las mejoras en eficiencia energética del equipamiento relacionado con la climatización en los sectores residencial y servicios.



5.2 ESTUDIO ECONÓMICO

A lo largo del presente informe se ha mostrado la importancia que la eficiencia energética está adquiriendo en la agenda de los gobiernos, empresas y organismos internacionales.

Por parte del gobierno de España, se han impulsado en los últimos años programas para mejorar la eficiencia energética orientados a diversos sectores como la producción energética (reformas fiscales), el sector de la automoción (Programa MOVELE), el sector residencial (PAREER-CRECE) o la industria (Programa de fomento de la competitividad industrial), este análisis ayudaría a cuantificar el impacto de estos.

Por tanto, este análisis puede ayudar a definir cómo medir los progresos de las políticas de eficiencia energética y de medio ambiente y entender cuáles son los sectores clave donde más han influido. Esto supondría un ahorro ya que permitiría optimizar, unificar y establecer objetivos de las distintas políticas y planes de actuación.

5.3 FUTUROS DESARROLLOS

En primer lugar, la disponibilidad de datos que segmenten el consumo energético de transporte entre transporte privado y de mercancías completaría el análisis realizado en el presente informe. Si, como ejemplo mostrado en la siguiente ilustración, suponemos que el 60% del consumo energético del transporte se corresponde con transporte privado, el papel del sector residencial sería mayor y por tanto, el hecho de emplear la renta nacional disponible aportaría un mayor valor para comprender la evolución de la intensidad energética.

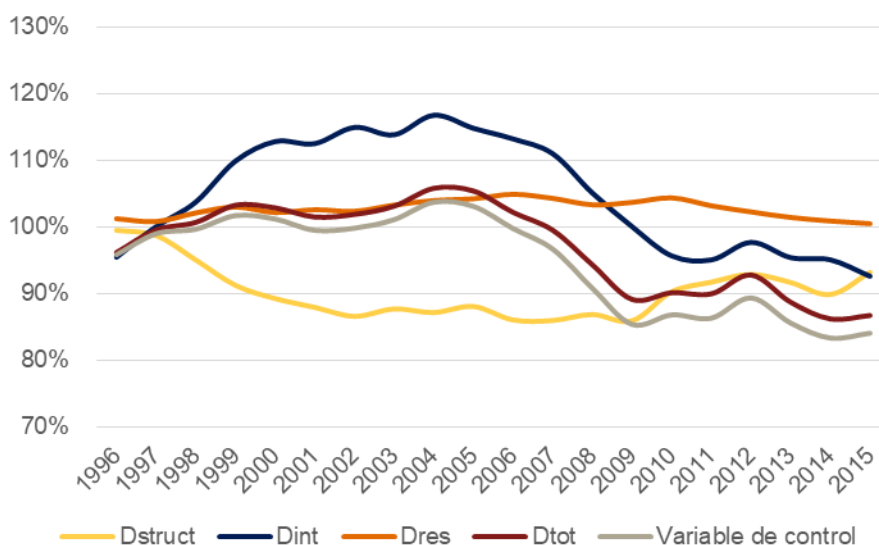


Ilustración 30. Descomposición de la intensidad energética en España entre 1995 y 2015 suponiendo que el 60% del consumo del transporte es transporte privado.

Otra posible ampliación de los resultados sería distribuir los consumos indirectos, es decir, algunos sectores como el transporte de mercancías y el sector de la producción energética representan consumos indirectos de otros sectores, por lo que la agrupación de estos profundizaría más en este análisis.

Por otro lado, una comparación sectorial a nivel internacional a distintos niveles, tanto europeo como local (países mediterráneos) aportaría una mayor comprensión de qué factores han tenido un mayor peso en la evolución de la intensidad energética respecto a países de su entorno.

La influencia de los precios energéticos podría aportar un mayor conocimiento en sectores como la industria, donde las ramas electro intensivas representan un porcentaje de participación importante.

Por último, la aplicación de métodos de análisis de descomposición estructural mostraría la influencia en la demanda que tienen unos sectores sobre otros. Por ejemplo, un aumento del sector del transporte de mercancías impulsará la demanda de la maquinaria de transporte y de la producción energética de derivados del petróleo.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] ONU, 2017 Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas
http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/2017/66&referer=http://www.un.org/es/documents/index.html&Lang=S
- [2] Wernick, 1996 Materialization and Dematerialization: Measures and Trends Iddo K. Wernick, Robert Herman, Shekhar Govind and Jesse H. Ausubel Daedalus Vol. 125, No. 3, The Liberation of the Environment (Summer, 1996), pp. 171-198
- [3] Bernardini, 1993 Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy Volume 25, Issue 4, May 1993, Pages 431-448 Oliviero Bernardini, Riccardo Galli
- [4] Kenneth, 2001 Economic development and end-use energy demand Kenneth B Medlock III; Ronald Soligo The Energy Journal; 2001; 22, 2; ABI/INFORM Global
- [5] Chris Nelder, 2003 The Worst Way to Measure Energy Efficiency
http://www.slate.com/articles/technology/the_efficient_planet/2013/03/energy_intensity_is_a_misleading_metric_in_the_fight_against_climate_change.html
- [6] Rutger Hoekstra, Jeroen C.J.M. van den Bergh, 2003, Energy Economics Comparing structural decomposition analysis and index
- [7] B.W Ang June 2004 Energy Policy Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?
- [8] R.E. Miller, P.D. Blair Input-Output Analysis: Foundations and Extensions, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, New Jersey (1985)
- [9] Ang and Zhang, 2000 B.W. Ang, F.Q. Zhang A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies
- [10] Fisher, 1922 I. Fisher The Making of Index Numbers: A Study of their Varieties. Tests and Reliability, Augustus M. Kelly, New York (1922)
- [11] Balk, 1995 B.M. Balk Axiomatic price index theory: a survey Int. Stat. Rev., 63 (1995), pp. 69-93
- [12] Maria, 2010 Maria Mendiluce La intensidad energética en España: Claves para entender su evolución.



- [13] Sun (1998) J.W. Sun Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model
- [14] Stuve 1957 Stuvell “A new index formula”
- [15] Törnqvist et al (1985)L. Törnqvist, P. Vartia, Y. Vartia How should relative changes be measured?The American Statistician, 39 (1) (1985), pp. 43–46
- [16] Boyd et al. (1988)G.A. Boyd, D.A. Hanson, T. Sterner Decomposition of changes in energy intensity—a comparison of the Divisia index and other methods Energy Economics, 10 (4) (1988), pp. 309–312
- [17] Ang and Liu (2001) B.W. Ang, F.L. Liu A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation Energy, 26 (6) (2001), pp. 537–548
- [18] Ang and Choi (1997)B.W. Ang, K.H. Choi Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method Energy Journal, 18 (3) (1997), pp. 59–73
- [19] Sato, K. (1976) “The ideal log-change index numbers”, The review of economics and statistics 85 (3):323-328
- [20] EFE, 2015 <https://www.efeempresas.com/noticia/la-economia-sumergida-en-espana-cerca-del-20-del-pib-190-000-millones/>
- [21] IEA, Statistics, energy balance flows
- [22] Eurostat, Environment and energy, Energy, Energy statistics-quantities annual data, Energy statistics- supply, transformation and consumption, complete energy balances- annual data.
- [23] INE,2010a Cuentas nacionales, resultados detallados, agregados por ramas de actividad en base 2010
- [24] INE 2010b Cuentas nacionales, Renta nacional disponible
- [25] World bank, 2010 Spanish GDP Deflator
- [26] OCDE library statistics



ANEXO I - CATEGORÍAS NACE

Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca

- 01 Agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados con las mismas
- 02 Silvicultura y explotación forestal
- 03 Pesca y acuicultura

Industrias extractivas

- 05 Extracción de antracita, hulla y lignito
- 06 Extracción de crudo de petróleo y gas natural
- 07 Extracción de minerales metálicos
- 08 Otras industrias extractivas
- 09 Actividades de apoyo a las industrias extractivas

Industria manufacturera

- 10 Industria de la alimentación
- 11 Fabricación de bebidas
- 12 Industria del tabaco
- 13 Industria textil
- 14 Confección de prendas de vestir
- 15 Industria del cuero y del calzado
- 16 Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería
- 17 Industria del papel
- 18 Artes gráficas y reproducción de soportes grabados
- 19 Coquerías y refino de petróleo
- 20 Industria química
- 21 Fabricación de productos farmacéuticos
- 22 Fabricación de productos de caucho y plásticos
- 23 Fabricación de otros productos minerales no metálicos
- 24 Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones
- 25 Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo
- 26 Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos
- 27 Fabricación de material y equipo eléctrico
- 28 Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.
- 29 Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques
- 30 Fabricación de otro material de transporte
- 31 Fabricación de muebles
- 32 Otras industrias manufactureras



33 Reparación e instalación de maquinaria y equipo

Suministro de energía, gas, vapor y aire acondicionado.

35 Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado

Sección de suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación.

36 Captación, depuración y distribución de agua

37 Recogida y tratamiento de aguas residuales

38 Recogida, tratamiento y eliminación de residuos; valorización

39 Actividades de descontaminación y otros servicios de gestión de residuos

Construcción

41 Construcción de edificios

42 Ingeniería civil

43 Actividades de construcción especializada

Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas.

45 Venta y reparación de vehículos de motor y motocicletas

46 Comercio al por mayor e intermediarios del comercio, excepto de vehículos de motor y motocicletas

47 Comercio al por menor, excepto de vehículos de motor y motocicletas

Transporte y almacenamiento.

49 Transporte terrestre y por tubería

50 Transporte marítimo y por vías navegables interiores

51 Transporte aéreo

52 Almacenamiento y actividades anexas al transporte

53 Actividades postales y de correos

Hostelería

55 Servicios de alojamiento

56 Servicios de comidas y bebidas

Información y comunicaciones

58 Edición

59 Actividades cinematográficas, de vídeo y de programas de televisión, grabación de sonido y edición musical

60 Actividades de programación y emisión de radio y televisión

61 Telecomunicaciones

62 Programación, consultoría y otras actividades relacionadas con la informática

63 Servicios de información

Actividades financieras y de seguros

64 Servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones

65 Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto Seguridad Social obligatoria



66 Actividades auxiliares a los servicios financieros y a los seguros

Actividades inmobiliarias

68 Actividades inmobiliarias

Actividades profesionales, científicas y técnicas

69 Actividades jurídicas y de contabilidad

70 Actividades de las sedes centrales; actividades de consultoría de gestión empresarial

71 Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos

72 Investigación y desarrollo

73 Publicidad y estudios de mercado

74 Otras actividades profesionales, científicas y técnicas

75 Actividades veterinarias

Actividades administrativas y de servicios auxiliares

77 Actividades de alquiler

78 Actividades relacionadas con el empleo

79 Actividades de agencias de viajes, operadores turísticos, servicios de reservas y actividades relacionadas con los mismos

80 Actividades de seguridad e investigación

81 Servicios a edificios y actividades de jardinería

82 Actividades administrativas de oficina y otras actividades auxiliares a las empresas

Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria

84 Administración Pública y defensa; Seguridad Social obligatoria

Educación

85 Educación

Actividades sanitarias y de servicios sociales

86 Actividades sanitarias

87 Asistencia en establecimientos residenciales

88 Actividades de servicios sociales sin alojamiento

Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento

90 Actividades de creación, artísticas y espectáculos

91 Actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales

92 Actividades de juegos de azar y apuestas

93 Actividades deportivas, recreativas y de entretenimiento

Otros servicios

94 Actividades asociativas

95 Reparación de ordenadores, efectos personales y artículos de uso doméstico

96 Otros servicios personales

Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico; actividades de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio.



97 Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico

98 Actividades de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio

Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales

99 Actividades de organizaciones y organismos extraterritoriales

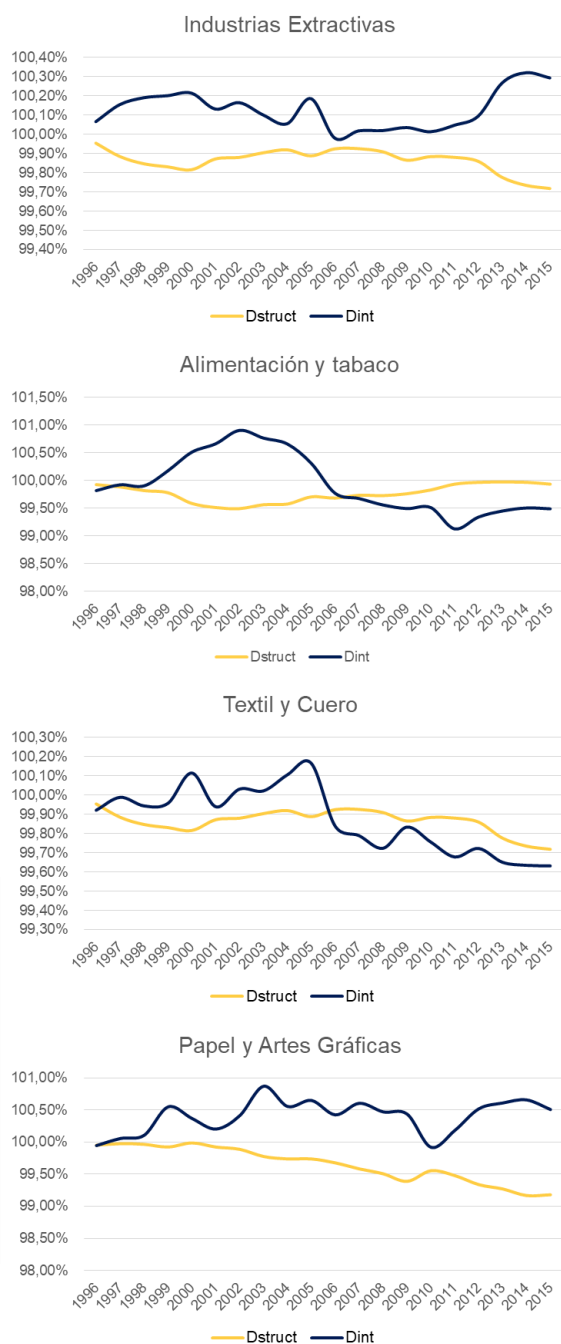


ANEXO II – PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	3,9	4,4	4,3	4,2	3,8	3,7	3,7	3,7	3,5	3,1
Industria	19,8	19,8	19,9	19,5	19,1	18,7	18,4	17,9	17,5	17,1
Construcción	8,6	8,3	8,2	8,4	8,8	9,2	9,5	9,8	9,9	10,0
Servicios	60,2	59,7	59,4	59,3	59,0	59,1	59,5	59,8	59,7	59,9
- Comercio transporte y hostelería	23,0	22,4	22,4	21,8	21,8	21,6	21,6	21,5	21,1	21,0
- Información y comunicaciones	3,5	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,1
- Actividades financieras y de seguros	4,4	4,3	4,4	4,3	4,0	4,2	4,4	4,4	4,3	4,2
- Actividades inmobiliarias	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,4	5,7	6,0	6,3	6,7
- Actividades profesionales	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	5,8
- Administración pública, sanidad y educación	15,5	15,5	15,1	15,0	14,8	14,6	14,4	14,3	14,5	14,5
- Actividades artísticas, recreativas y otros servicios	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5	3,5
Impuestos netos sobre los productos	7,5	7,8	8,3	8,7	9,3	9,3	9,0	8,9	9,4	9,9
PRODUCTO INTERIOR BRUTO A PRECIOS DE MERCADO	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	2,7	2,4	2,4	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Industria	16,9	16,6	16,4	16,5	15,5	15,7	16,0	15,8	15,6	15,5
Construcción	10,4	10,4	10,1	10,1	9,9	8,1	6,9	5,8	5,1	4,9
Servicios	59,7	59,9	61,1	63,0	65,7	65,4	66,7	67,9	68,0	68,4
- Comercio transporte y hostelería	20,4	20,0	19,9	20,1	20,5	20,6	21,1	21,6	21,7	22,0
- Información y comunicaciones	4,1	4,0	3,9	3,9	4,1	4,0	4,0	4,1	3,9	3,9
- Actividades financieras y de seguros	4,2	4,3	4,6	4,9	5,3	4,1	3,8	3,9	3,5	3,8
- Actividades inmobiliarias	7,1	7,5	8,0	8,2	8,3	9,3	10,0	10,6	11,0	11,0
- Actividades profesionales	5,9	6,2	6,5	6,7	6,8	6,6	6,8	6,8	6,7	6,7
- Administración pública, sanidad y educación	14,5	14,5	14,7	15,6	17,0	17,1	17,2	17,1	17,3	17,1
- Actividades artísticas, recreativas y otros servicios	3,5	3,4	3,4	3,5	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9
Impuestos netos sobre los productos	10,4	10,7	10,0	8,1	6,8	8,4	8,1	8,2	8,7	8,9
PRODUCTO INTERIOR BRUTO A PRECIOS DE MERCADO	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
										2014(A)

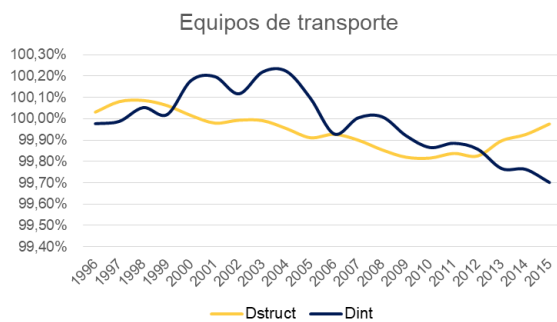
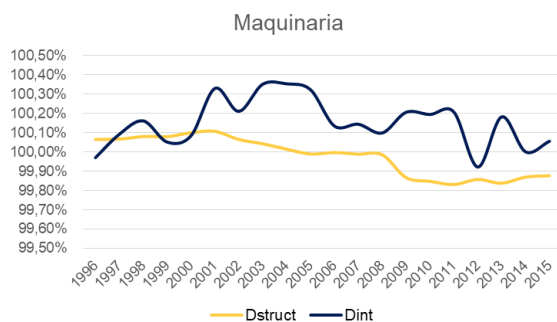
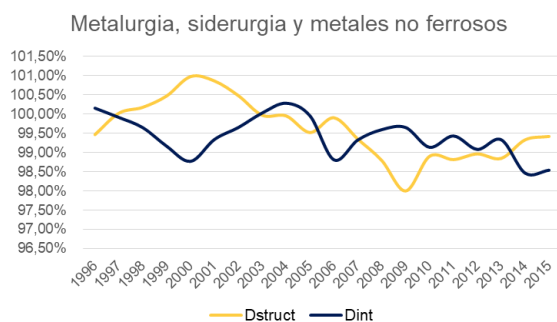
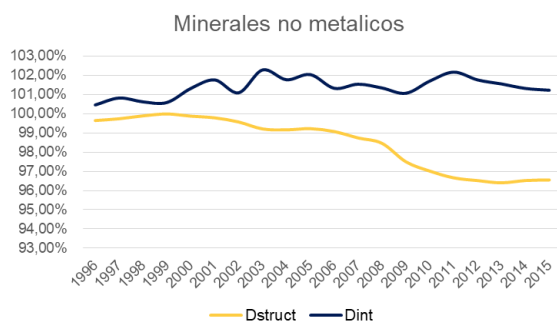
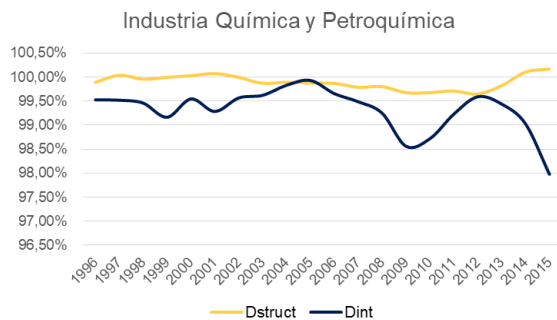


ANEXO III – DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA POR SECTORES



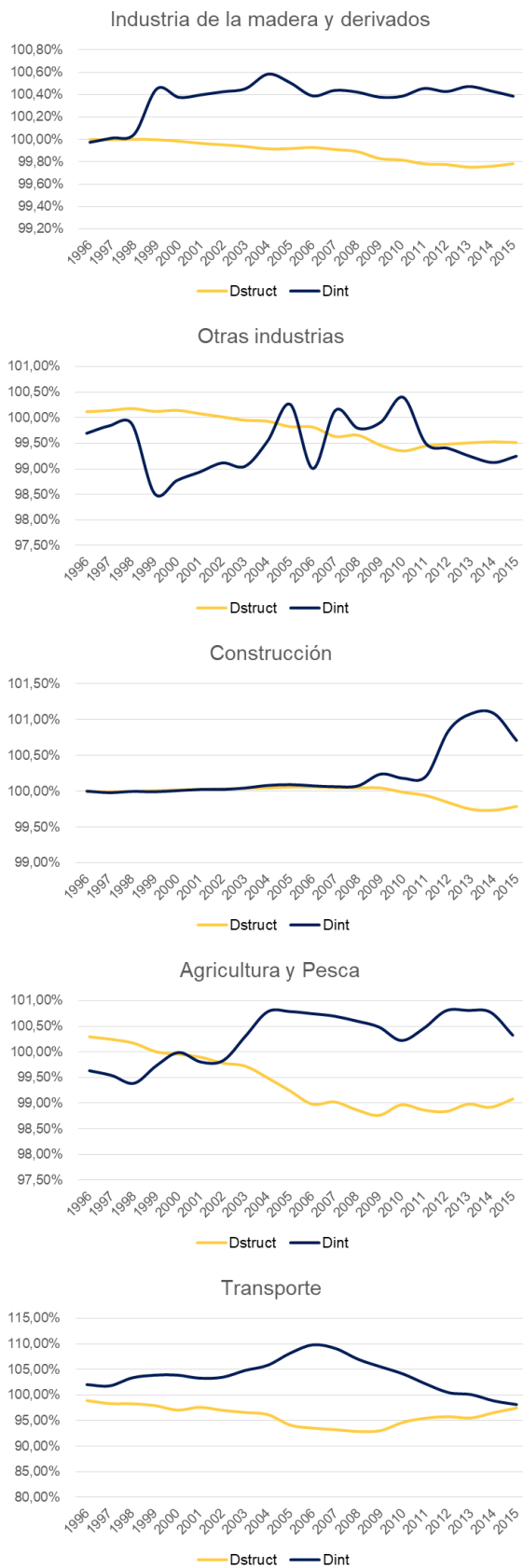


ANEXO III – Descomposición de índices de la intensidad energética por sectores



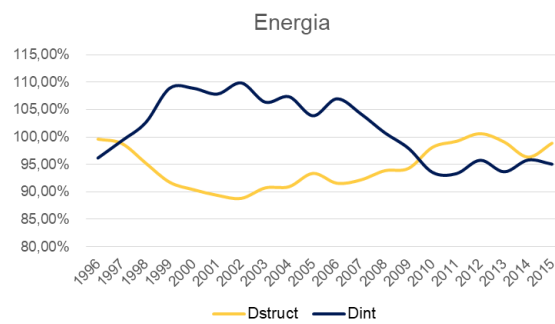
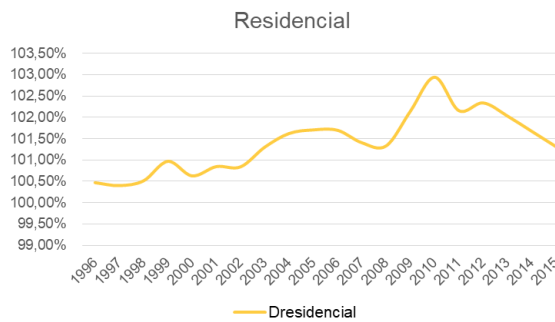
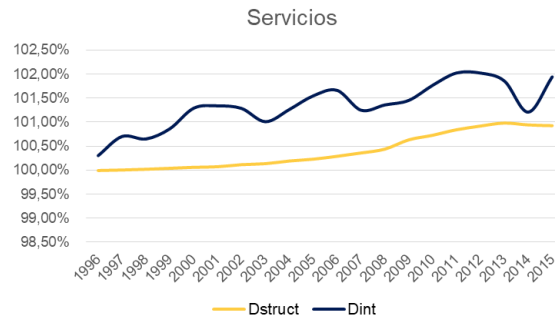


ANEXO III – Descomposición de índices de la intensidad energética por sectores



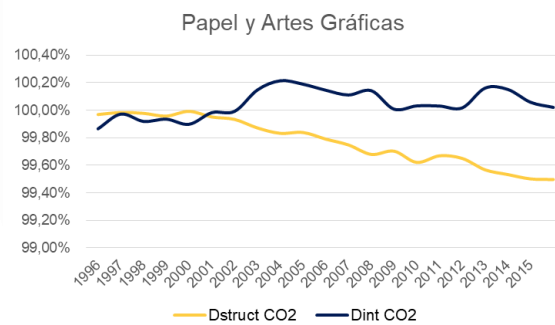
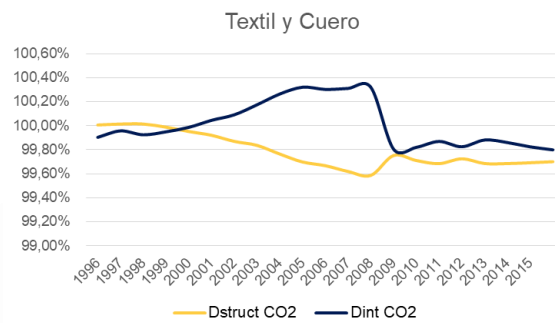
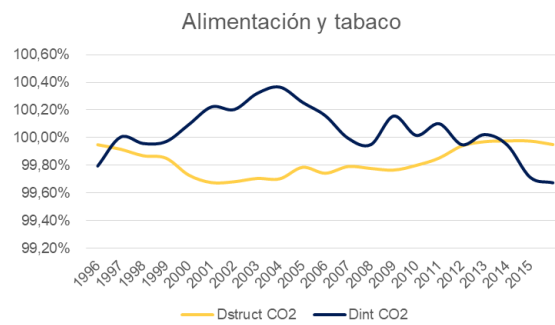
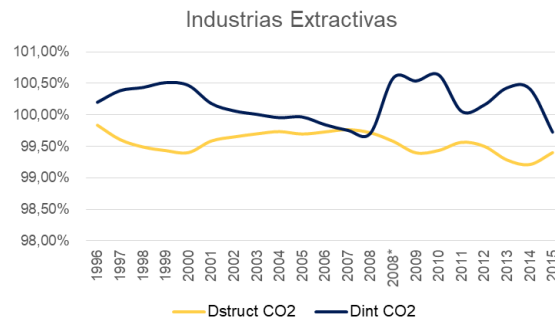


ANEXO III – Descomposición de índices de la intensidad energética por sectores



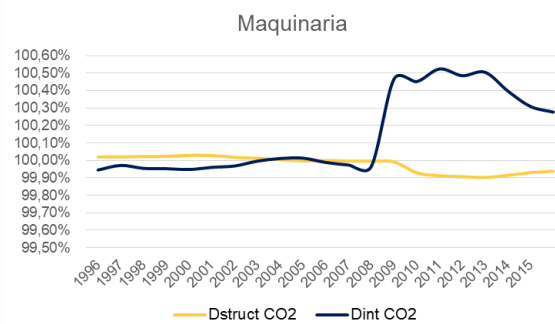
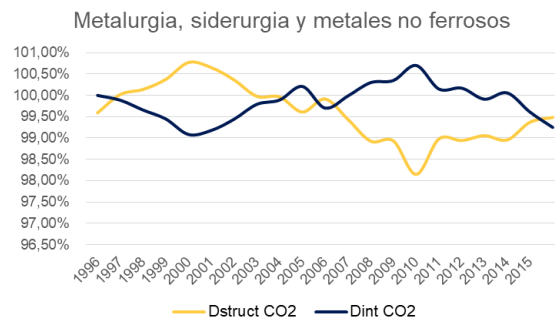
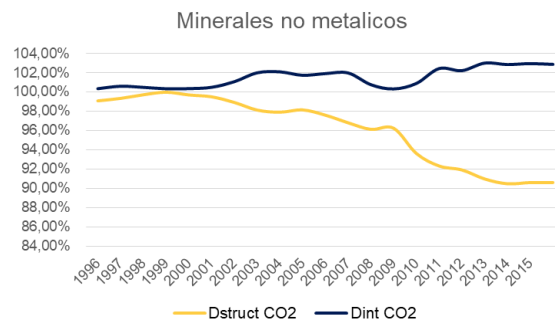
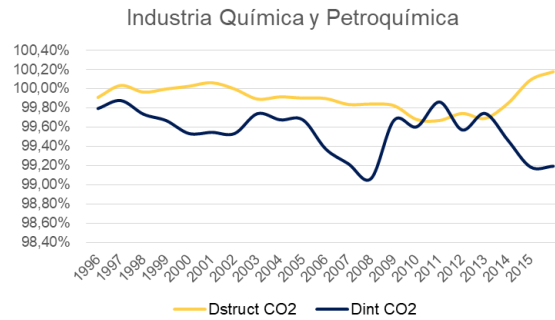


ANEXO IV – DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES DE LA INTENSIDAD DE EMISIONES POR SECTORES



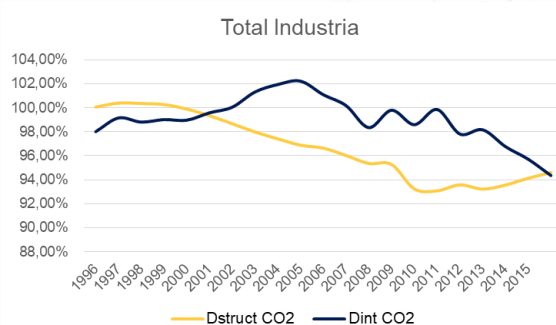
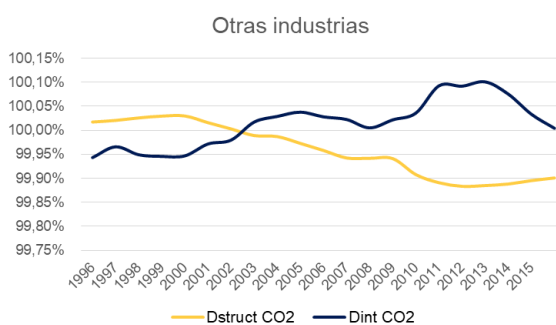
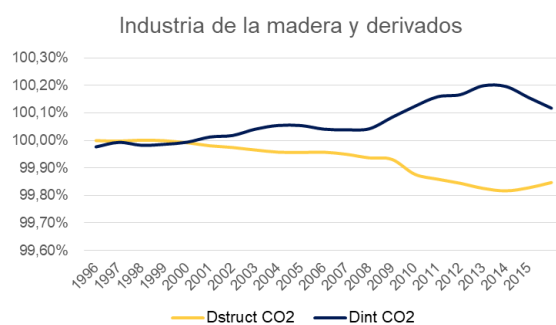
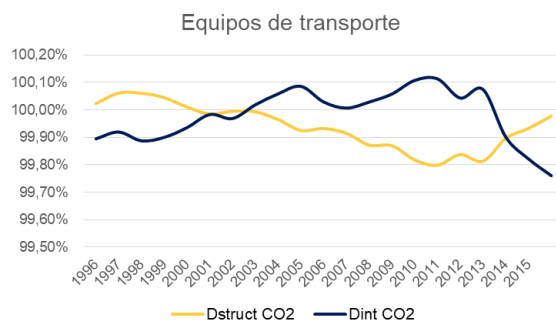


ANEXO IV – Descomposición de índices de la intensidad de emisiones por sectores



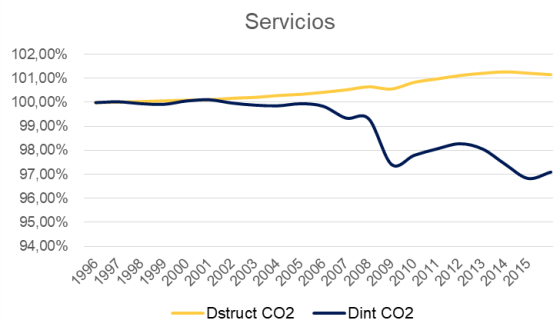
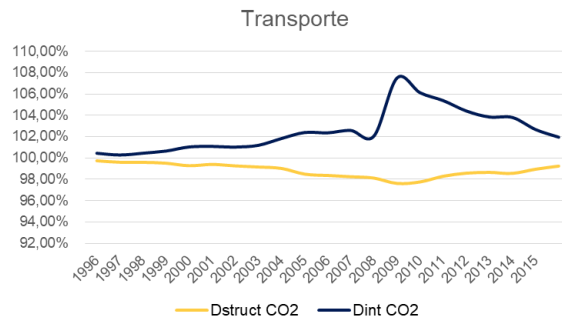
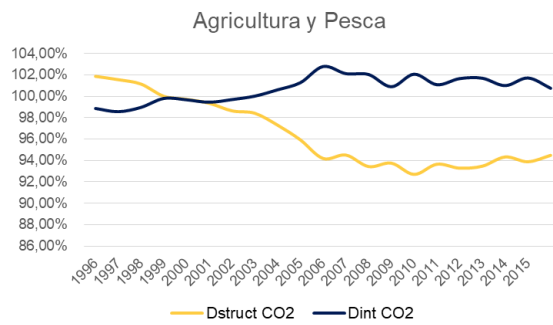
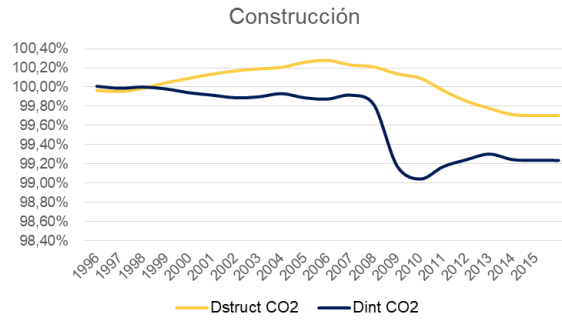


ANEXO IV – Descomposición de índices de la intensidad de emisiones por sectores





ANEXO IV – Descomposición de índices de la intensidad de emisiones por sectores





ANEXO IV – Descomposición de índices de la intensidad de emisiones por sectores

