

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

La intensidad energética y la urbanización
(The Energy Intensity and urbanization)

Autor/a: D/D^a Samuel Tarife Mora

Tutor/a: D/D^a Gracia Rodríguez Brito

Grado en ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO
Curso Académico 2018/ 2019

SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA, 18 de marzo de 2019

Doña Gracia Rodríguez Brito del departamento de Economía, contabilidad y finanzas

CERTIFICA:

Que la presente Memoria de Trabajo Fin de Grado en Economía titulada “La intensidad energética y la urbanización” y presentada por el alumno Samuel Tarife Mora realizada bajo mi dirección, reúne las condiciones exigidas por la Guía Académica de la asignatura para su defensa.

Para que así conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente en La Laguna a 18 de marzo de dos mil diecinueve.

El/La tutor/a o Los/as tutores/as

Fdo: Doña Gracia Rodríguez Brito

SAN CRISTÓBAL DE LA LAGUNA, 18 de marzo de 2019

RESUMEN

La eficiencia energética se ha convertido en un objetivo para muchos países. El indicador económico más utilizado para medirla es la intensidad energética. En la literatura se han utilizado diferentes variables para explicar su evolución como el crecimiento económico, la industrialización, los precios de la energía o, en algunos casos, el nivel de urbanización debido a la tendencia creciente que ha experimentado en los últimos años. Este documento tiene como objetivo principal examinar la posible relación entre la urbanización y la intensidad energética de 30 países de la OCDE empleando datos anuales entre 1975 y 2010. Para este fin, llevamos a cabo la realización de una regresión lineal múltiple. Los parámetros obtenidos muestran que afecta de una forma positiva (ante un aumento en la urbanización la IE aumenta) en el corto plazo, sin embargo, en el largo plazo lo hace de forma negativa.

Palabras clave: cambio climático; eficiencia energética; intensidad energética; urbanización.

ABSTRACT

Energy efficiency has become a desirable target for a large amount of countries. Energy Intensity is the most used economic indicator in order to approximate energy efficiency. In the literature, different variables have been used to explain the evolution of this indicator, such as economic growth, industrialization, energy prices and, in some cases, the urbanization rate –due to its recent growing trend. This work aims to examine the possible relationship between urbanization and energy intensity for 30 OECD countries drawing upon annual data between 1975 and 2010. In order to do this, a multiple linear regression is conducted. The estimated coefficients reveal that the urbanization rate performs a positive effect in the short term (i.e., the higher urbanization rate, the higher the EI). However, in the long term, this relationship takes a negative effect (i.e., the higher the urbanization rate, the lower the EI).

Key words: climate change; energy efficiency; energy intensity; urbanization.

ÍNDICE	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: CONCEPTO Y MEDICIÓN.....	7
3. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU DESCOMPOSICIÓN.....	11
4. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO ECONÓMICO.....	14
4.1 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA: RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO.....	14
4.2 LA EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA.....	16
5. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU RELACIÓN CON OTRAS MAGNITUDES.....	18
5.1 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LAS EMISIONES DE CO ₂	19
5.2 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LA INDUSTRIALIZACIÓN.....	20
5.3 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LA URBANIZACIÓN.....	21
6. APLICACIÓN EMPÍRICA.....	24
6.1 METODOLOGÍA.....	24
6.2 DATOS.....	27
6.3 RESULTADOS.....	28
6.4 DISCUSIÓN Y COMENTARIOS.....	31
7. CONCLUSIONES.....	32
8. BIBLIOGRAFÍA.....	33

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Intensidad energética en los países de la Unión Europea en el periodo de análisis comprendido entre el año 1830 y el año 2010.....	17
Gráfico 2. Evolución de la IE en algunos países durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 1975 y el año 2015.....	18
Gráfico 3. Estimación del comportamiento de la urbanización en el largo plazo.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición y descripción de las variables utilizadas en el estudio para los 30 países de la OCDE seleccionados y para el periodo de tiempo comprendido entre el año 1975 y el 2010.....	26
Tabla 2. Países utilizados en el estudio.....	27
Tabla 3. Coeficientes de correlación.....	28
Tabla 4. Resultados de la regresión.....	29

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático es un problema importante que afecta a los distintos países del mundo ocasionando la subida del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, inundaciones y sequías, entre otras. La principal causa del cambio climático es el vertido a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre los que destaca el dióxido de carbono. Desde la Revolución Industrial, las emisiones propias de la actividad humana han ido aumentando considerablemente, hasta llegar al punto en el que sobrepasan a las que pueden ser captadas mediante el ciclo natural del carbono. El exceso de gases tiende a acumularse en la atmósfera, aumentando el efecto invernadero y, en consecuencia, la temperatura del planeta (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017).

El consumo de la energía es una de las actividades que mayor cantidad de emisiones provoca, siendo responsable de alrededor de dos tercios del total de las mismas (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017). La causa fundamental es la quema de combustibles fósiles para la obtención de calefacción y electricidad, para el transporte de los ciudadanos o para la industria. Tal es la importancia del problema que, desde la Comisión Europea (CE), se han planteado multitud de medidas destinadas a mejorar esta situación. Entre ellas, destaca la “Estrategia 2020” con la que se pretende reducir las emisiones de GEI un 20% (con respecto a los niveles del año 1990), incrementar la participación de las renovables un 20% y aumentar la Eficiencia Energética (EE) en el mismo porcentaje.

Siguiendo con esta línea, el 30 de noviembre del año 2016 la CE ha publicado el “Winter Package”. Se trata de un proyecto más ambicioso que la anterior propuesta porque pretende guiar la transición hacia una economía limpia y baja en carbono, así como modificar la regulación del mercado eléctrico. Se ha fijado como horizonte temporal el año 2050. Entre los objetivos concretos destacan el nuevo diseño del mercado energético interior, la integración y el alineamiento de los objetivos del cambio climático en este nuevo mercado que se está planteando y el desarrollo de un reglamento detallado sobre riesgos y gobernanza energética (Europea, 2013; Hancher y Winters, 2017).

Resulta evidente que todas las propuestas europeas apuestan hacia una mejora de la EE como medida que reduzca los efectos negativos del cambio climático, ya sea en la producción de bienes o en la de servicios. Las mejoras de la EE traen aparejada una reducción del consumo energético y, en consecuencia, de las emisiones de GEI, mermando así los efectos del cambio climático. Asimismo, se puede lograr un ahorro importante de energía. Por lo tanto, la EE tiene un gran potencial y es una alternativa muy importante para la sociedad y la economía, sobre todo cuando nos percatamos de que sólo el 37% de la energía primaria se llega a convertir en energía útil, mientras que el resto se pierde en el proceso (Poveda, 2007). Un ejemplo de la eficacia de la EE la podemos ver reflejada en los vehículos de hoy en día, en los que, partiendo de una misma cantidad de combustible obtienen una mayor autonomía.

Para medir la EE se suelen utilizar diferentes indicadores. Según Patterson (1996), existen cuatro grandes grupos de indicadores de EE que son los más influyentes, estos son: los termodinámicos, los físico-termodinámicos, los económicos y los económicos-termodinámicos. Estos indicadores pueden aplicarse a los niveles de actividad económica tanto sectorial como nacional del producto, además de para el consumo de energía primaria y el consumo de energía final (Filippini & Hunt, 2015).

En este trabajo utilizaremos el Índice de Intensidad Energética (IIE), el cual se enmarca dentro del grupo de los indicadores denominados como económico-termodinámicos. Se trata de un índice ampliamente estudiado en la literatura y que consiste en la ratio entre el consumo energético y el Producto Interior Bruto (PIB), por lo que mide la relación entre la energía utilizada por unidad de producción real. Este índice es comúnmente utilizado por los investigadores ya que ofrece información relevante sobre la evolución del consumo energético (Marrero & Ramos-real, 2005), lo que hace que sea el elegido para utilizarlo en nuestro estudio. No obstante, por su definición, este índice requiere alguna modificación para poder diferenciar entre los cambios que se producen en la EE propiamente dicha y los cambios debidos a las variaciones en la estructura económica. A su vez, la mejora en el IIE puede contribuir, en general, a aminorar los efectos negativos del cambio climático, ya que puede ayudar a reducir las emisiones de GEI. Existen variables que explican la evolución de este índice como son el crecimiento económico, la industrialización y la urbanización. Además, hay variables como las emisiones de CO₂ la cual se ha relacionado en la literatura con este índice.

Más concretamente, la variable de la urbanización ha ido cobrando importancia con el paso de los años. En concreto, esta variable viene medida como porcentaje de la población que vive en las ciudades. En estudios recientes ha adquirido relevancia como en el elaborado por Naciones Unidas, (PNUD, 2016) donde se afirma que para el año 2030 más del 60% de la población mundial vivirá en las ciudades. Asimismo, los núcleos urbanos representaron el 82% del PIB mundial en el año 2014, con una previsión claramente alcista. Las ciudades son responsables de más del 70% de los GEI que se emiten, ya que en ellas se consume el 80% de la energía que se produce en la tierra. A pesar de todas estas cifras tan relevantes, las investigaciones realizadas acerca de la relación existente entre la IE y la urbanización son escasas, aunque el contexto teórico muestra que sí se cumple. Es por esta razón por la que sería interesante estudiar la relación entre la IE y la urbanización pudiendo así rellenar la brecha existente en la literatura, identificando y analizando las políticas pertinentes que se deberían elaborar. Consecuentemente, con ello se podría mejorar la EE y minorar, por tanto, los efectos negativos del cambio climático.

Tras realizar un análisis de la literatura hemos descubierto que existen trabajos que analizan las variables que explican la evolución de la IE como son el crecimiento económico, la industria o la urbanización. Incluso existen trabajos que estudian la relación entre la IE y las emisiones de CO₂. Sin embargo, los trabajos que investigan la relación entre la IE y la urbanización son escasos a pesar de que la teoría muestra que están íntimamente relacionadas. Corroborar la existencia de tal relación es el objetivo fundamental de este trabajo. Para ello, se

realizará un ejercicio práctico mediante un modelo econométrico que demuestre empíricamente una relación significativa entre dichas variables. La variable dependiente será la IE y como variables independientes utilizaremos el PIB per cápita, el peso de la industria, los precios de la energía, el tamaño del país, la urbanización y la urbanización al cuadrado. El periodo de análisis será el comprendido entre el año 1975 y el año 2010, además, serán objeto de estudio un total de 30 países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Cabe destacar que de los 36 países que forman la organización hemos descartado a Lituania, Letonia, Israel, Luxemburgo, Islandia y Eslovenia por falta de información.

En lo referente a la estructura de este trabajo podemos decir que se presenta de la siguiente manera. En la segunda sección, identificaremos el concepto de EE y su medición. En la tercera sección realizaremos la descomposición de la demanda de energía, y posteriormente, de la IE. En la sección cuarta, en primer lugar, analizaremos la relación entre la energía y el crecimiento económico, en segundo lugar, mostraremos la relación entre la IE y el crecimiento económico, además de comentar la evolución que ha experimentado a lo largo del tiempo. En la sección quinta investigaremos las distintas variables que explican la evolución de la IE. Primeramente, analizaremos las emisiones de CO₂ ya que es una variable con la que se suele relacionar a la IE. Posteriormente, identificaremos las variables explicativas de la evolución de la IE como son la industrialización y la urbanización. En la sección sexta desarrollaremos una pequeña aplicación empírica a través de la realización de un modelo econométrico para corroborar si la relación entre la IE y la urbanización tiene cabida. Una vez realizado el modelo, mostraremos los resultados y llevaremos a cabo una pequeña discusión de los mismos. Finalmente, expondremos las conclusiones a las que hemos llegado.

2. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: CONCEPTO Y MEDICIÓN

Las mejoras en la EE pueden ocasionar numerosos beneficios en nuestra sociedad. Entre ellos destaca la consecución de un desarrollo sostenible, mejoras del cambio climático, ahorro de la energía y un aumento considerable de la competitividad económica, entre otros. De acuerdo con diferentes autores, la EE puede definirse como la relación entre la producción de un servicio, bien o energía y el gasto de energía (Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, 2012). Por su parte, para Pérez-Lombard, Ortiz, y Velázquez (2013) el concepto de eficiencia relaciona los resultados que se desean obtener y los recursos que se requieren. Para estos autores si lo que queremos definir es la EE, en este caso el resultado sería la provisión de un servicio de energía, y el recurso es la entrada de energía. Asimismo, el *Lawrence Berkeley National Laboratory* la define como: *“Utilizar menos energía en la prestación de igual servicio”*. En definitiva, (Bhattacharyya, 2011) establece que la mayoría de las definiciones se asientan en la proporción de *“salida útil de un proceso / entrada de energía en un proceso”*.

La medición de la EE plantea problemas metodológicos (Patterson, 1996). Para medir la EE se utilizan los Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) debido a que son capaces de cuantificar, analizar, y además, pueden explicar en cierto modo los cambios que se producen en

la energía utilizada por la población. Es decir, proporcionan información sobre la evolución del consumo de energía. En este tipo de indicadores, la energía se puede expresar tanto en términos de energía final como de energía primaria o, incluso, en otras magnitudes que estén relacionadas con ella como podrían ser las emisiones de GEI (Pérez-Lombard et al., 2013).

Entre los IEE se distinguen cuatro grupos principales que son los siguientes: termodinámicos, físico-termodinámicos, económicos y económicos-termodinámicos. Según Patterson (1996), la EE se define en términos generales por el siguiente ratio¹ definido en la Ecuación 1:

$$\eta = \frac{\textit{Useful output of a process}}{\textit{Energy input into a process}} \quad (1)$$

El primer grupo recoge los indicadores de eficiencia termodinámica, éstos dependen de mediciones llevadas a cabo por la ciencia de la termodinámica. Entre ellos podemos destacar el indicador de eficiencia entálpica o indicadores eficiencia de la primera ley de la termodinámica cuya expresión viene recogida en la Ecuación 2:

$$E_{\Delta H} = \frac{\Delta H_{out}}{\Delta H_{in}} \quad (2)$$

donde;

$E_{\Delta H}$ = representa la eficiencia entálpica.

ΔH_{out} = salida de energía del proceso.

ΔH_{in} = entrada de energía del proceso.

Debemos destacar que el problema que presenta este tipo de indicadores es que no tienen en cuenta la calidad energética de las entradas y salidas de energía, por lo tanto, si fueran de cualidades diferentes no se podrían comparar. Otro enfoque sería el de definir la EE en relación a la energía mínima "ideal" para realizar el proceso, son los conocidos como indicadores de eficiencia de la segunda ley de la termodinámica. En términos matemáticos esta expresión vendría expresada como muestra la Ecuación 3:

$$\rho = \frac{E_{\Delta H(actual)}}{E_{\Delta H(ideal)}} \quad (3)$$

¹ Según (Patterson, 1996), la salida del proceso no tiene por qué ser salida de energía (kWh, J, cal) sino que pueden ser incluso unidades físicas como por ejemplo, toneladas de producto. El problema de este ratio según el autor, radica en definir con exactitud cuál es la salida de energía y la entrada.

donde;

ρ = Nos indica la eficiencia de la segunda ley de un proceso para realizar una tarea específica.

$E_{\Delta H(actual)}$ = Representa la eficiencia entálpica real de un proceso al realizar una tarea específica.

$E_{\Delta H(ideal)}$ = Representa la eficiencia entálpica ideal para realizar una tarea de manera reversible mediante un dispositivo perfecto.

Como es obvio, el proceso más eficiente posible tendrá una eficiencia de $\rho = 1$. La ventaja que presentan los indicadores termodinámicos que hemos visto es que son producidos por medidas únicas y objetivas dadas por un proceso en un medio ambiente concreto. La desventaja es que requieren de mucho tiempo de investigación para la obtención de datos ya que se necesita analizar minuciosamente cada detalle de lo que se pretenda examinar (Yolanda Vieira de Abreu, Marco Aurélio González de Oliveira, 2010).

En segundo lugar, se encuentra el grupo de los indicadores físico-termodinámicos en los que la entrada de energía se mide en unidades termodinámicas y la salida se mide en unidades físicas. Estas unidades físicas intentan medir la prestación de servicios del proceso, por ejemplo, en términos de toneladas de producto o millas de pasajeros. La ventaja que presentan es que al utilizar tanto medidas físicas como termodinámicas se puede medir objetivamente cuál es el consumo requerido actualmente por el uso final. Además, tienen la característica de que pueden ser comparados y analizados en series temporales. El inconveniente que presentan se identifica, sobre todo, cuando nos encontramos en una situación en la que para una misma industria se producen dos productos diferentes. Determinar en este caso la entrada de energía para cada uno de ellos se convierte en un problema que es conocido como "problema de partición" (Patterson, 1996). Un ejemplo de este tipo de indicadores, si nos encontramos en el sector del transporte de mercancías y queremos un indicador de eficiencia adecuado, sería el que viene dado en la Ecuación 4:

$$\frac{\text{Output (tonne kilometres)}}{\text{Energy input } (\Delta H)} \quad (4)$$

Un ejemplo de este tipo de indicadores, si nos encontramos en el sector industrial, concretamente en la producción de aluminio sería el que viene dado en la Ecuación 5:

$$\frac{\text{energy input}}{\text{tonne of aluminium}} \quad (5)$$

En tercer lugar, existen indicadores económicos en los que tanto la entrada como la salida se miden puramente en términos de valores monetarios. El problema que presenta este tipo de indicadores es la determinación del valor monetario de la energía de entrada. Cabe destacar que para estudiar las relaciones entre los grandes agregados estadísticos de la

economía existen macro-indicadores y algunos de ellos ayudan a definir y caracterizar la EE de un país. Existen también micro-indicadores que engloban el comportamiento del consumidor en relación con el precio de la energía y el uso de aparatos más eficientes como, por ejemplo, curvas de oferta y demanda de energía o la previsión de la demanda de energía entre otros. Estos micro-indicadores pueden ser utilizados para medir el costo efectivo de las inversiones de EE. Entre ellos destaca la tasa interna de retorno (TIR) (Yolanda Vieira de Abreu, Marco Aurélio González de Oliveira, 2010). Un ejemplo de este tipo de indicadores, aunque más bien es un indicador de eficiencia económica al enumerarse en términos de valor económico (\$) y, por lo tanto, se debe descartar de inmediato como una medida candidata de eficiencia energética (Patterson, 1996). En la literatura su expresión viene dada como Ecuación 6:

$$\frac{\text{Nacional energy input } (\$)}{\text{Nacional output } (\$ \text{ GDP})} \quad (6)$$

Por último, están los indicadores económico-termodinámicos que son aquellos en los que la salida es medida en valores monetarios y la entrada de energía en unidades termodinámicas. Debemos destacar que pueden ser utilizados en distintos niveles de agregación de las actividades económicas, tanto a nivel sectorial, industrial o incluso a nivel nacional. Además, en las investigaciones su utilización ha aumentado debido a que facilitan la comparación entre países (Yolanda Vieira de Abreu, Marco Aurélio González de Oliveira, 2010). Camioto, Rebelatto y Rocha, (2016) proporcionan un ejemplo de indicador económico-termodinámico, conocido como índice de eficiencia energética total de factores (por sus siglas en inglés, TFEF). Básicamente, este índice mide la diferencia entre la energía agregada que se debería de consumir idealmente y el consumo de energía real, por lo que representa el nivel de eficiencia del consumo de energía de un país.

Asimismo, los Indicadores de Intensidad Energética son un tipo de indicadores económico-termodinámicos que relacionan el recurso usado al que se le denomina entrada y el servicio que se produce al que se le denomina salida. Éstos miden la cantidad de energía necesaria para proporcionar una unidad o servicio de actividad (Pérez-Lombard et al., 2013). Esencialmente, lo que reflejan es la relación existente entre la entrada de energía y la salida de servicio o también pueden interpretarse como la relación entre el consumo de energía y un indicador de demanda. En nuestro estudio, utilizaremos concretamente el Índice de Intensidad Energética (IIE), que se encuentra dentro de los indicadores de IE. La razón de su elección radica en que es comúnmente utilizado por los investigadores al ofrecer información relevante sobre la evolución del consumo energético, además de porque permite llevar a cabo su medición tanto a nivel nacional como por sectores económicos o subsectores y también, al permitir su comparación entre países (Marrero y Ramos-Real, 2013).

La Intensidad Energética (IE), por lo tanto, mide la relación entre el consumo final de energía (medido, por ejemplo, en Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP²)) y el PIB estimado en valor monetario (Tirole, 2014). Esta relación viene expresada en la Ecuación 7:

$$IE = \frac{\text{Energy input}}{\text{Service output}} \quad (7)$$

3. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU DESCOMPOSICIÓN

La información necesaria para la elaboración de este capítulo ha sido extraída del libro (Tirole, 2014). En primer lugar, antes de pasar a analizar cómo se descompone la IE, es necesario explicar cuáles son los efectos que producen cambios en la evolución de la demanda de energía de un país. Es decir, hay que diferenciar los cambios que se deben al crecimiento económico, cuáles son provocados por los cambios que se producen en la estructura de la economía o los que se deben a una mejora en la eficiencia del sistema energético. La mejora de la eficiencia puede ser provocada tanto por un progreso tecnológico autónomo, como por un cambio en el comportamiento de los consumidores que, al observar la subida en los precios de la energía, economizan su utilización o compran equipos más eficientes energéticamente. Según los estudios son tres los efectos que intervienen en la evolución de la demanda de energía de una economía y son: los efectos de actividad, los efectos de estructura y los efectos de contenido. En cualquier país, el consumo de energía final (medido en tep) se puede expresar como el resultado de varios elementos como refleja la Ecuación 8:

$$EF = \sum_{i=1}^n EF_i = \sum_{i=1}^n (EF_i/VA_i) \cdot (VA_i/Y) \cdot Y \quad (8)$$

donde EF representa el consumo final total, EF_i y VA_i el consumo final y el valor agregado del sector i (industria, transporte, etc.) e Y el PIB. La variación de la demanda final durante un periodo puede ser descompuesta en varios elementos constitutivos como refleja la Ecuación 9:

² La tonelada equivalente de petróleo (tep) se define como 10^7 kcal (41,868 GJ), y básicamente es la energía equivalente a la producida en la combustión de una tonelada de crudo de petróleo. Unidades de conversión. Galicia, España: *Instituto energético de Galicia*.

Recuperado de http://www.inega.gal/informacion/diccionario_de_termos/unidades_de_conversion.html?idioma=es

$$\begin{aligned}
 \Delta EF &= \sum \Delta (EF_i/VA_i). (VA_i/Y). Y && \text{(efecto contenido)} && (9) \\
 &+ \sum (EF_i/VA_i). \Delta(VA_i/Y). Y && \text{(efecto estructura)} \\
 &+ \sum (EF_i/VA_i). (VA_i/Y). \Delta Y && \text{(efecto actividad)} \\
 &+ \varepsilon && \text{(efecto de segundo y tercer orden)}
 \end{aligned}$$

El efecto actividad tiene como objetivo principal explicar cuáles son los fenómenos que generan o impulsan la demanda de servicios energéticos, es decir, mide el efecto de la variación del Valor Añadido Bruto (VAB). El efecto estructura, en cambio, se utiliza para explicar cuáles son las relaciones que se producen entre las diferentes actividades. Finalmente, el efecto contenido hace referencia a la cantidad de energía que se necesita para poder proporcionar la unidad de servicio o producto y está ligado con ahorros energéticos y cambios tecnológicos. Por otro lado, también se puede añadir a esta descomposición las emisiones de CO2 donde las podríamos evaluar simplemente añadiendo otra variable que representaría el factor del combustible y nos indicaría cuáles son las emisiones que se producen por unidad de combustible utilizado en el sector objeto de estudio (Pérez-Lombard et al., 2013; Tirole, 2014).

Con la utilización de esta metodología los autores lo que pretenden es mostrar que existen ciertos efectos que se pueden compensar parcialmente. Por ejemplo, una disminución en la demanda energética final no tiene por qué ser un sinónimo de aumento de la EE, ya que esta disminución puede venir provocada por un cambio en la estructura de las actividades económicas. Por ejemplo, si se sustituye a la industria pesada por la industria ligera.

A continuación, vamos a pasar a realizar la descomposición realizada anteriormente pero en esta ocasión será sobre la IE. El motivo de realizar dicha descomposición radica en que la IE presenta ciertos inconvenientes significativos inherentes a su propia definición, lo que complica su medición. Esto se debe a que los cambios que se producen en ésta no solo proceden de los efectos que causa la mejora de eficiencia en el uso de la energía (componente de eficiencia), sino que también pueden deberse a cambios en la importancia relativa de las diferentes actividades económicas que presenta el país (componente estructural). Con el paso de los años el efecto de los cambios sectoriales ha ido cobrando importancia. Por lo tanto, para un correcto análisis de la IE, es necesario llevar a cabo un método de descomposición adecuado y que permita diferenciar las dos componentes identificadas: la de eficiencia y la estructural (Marrero y Ramos-Real, 2013). Una de las metodologías de descomposición más utilizadas es el Análisis de Descomposición de Índices (por sus siglas en inglés, IDA) basado en la utilización de números índices. El punto de partida de los diferentes métodos es la fórmula expresada en la Ecuación 10:

$$EI_t = \frac{E_t}{Y_t} = \sum_{i=0}^n \frac{E_{it}}{Y_{it}} \frac{Y_{it}}{Y_t} = \sum_{i=1}^n e_{it} S_{it}, \text{ con } \sum_{i=1}^n S_{it} = 1 \quad (10)$$

donde se define i como el índice sectorial; n es el número de sectores considerados, t es un índice temporal que va desde el año de inicio del periodo de análisis hasta el último año objeto de estudio. E viene expresado por el consumo de energía final e Y es el Valor Añadido Bruto (VAB) total, de todos los sectores de actividad considerados. Por lo que E_i e Y_i representan respectivamente el consumo de energía final y el nivel de producción en el i -ésimo sector. Para cada sector i , se indica la intensidad energética sectorial $e_i = \frac{E_i}{Y_i}$ y la cuota de producción $s_i = \frac{Y_i}{Y}$. Por lo tanto, la ecuación anterior indica que un cambio en la IE puede deberse a variaciones en el peso de los sectores económicos, lo que denominamos anteriormente como componente estructural, y a las variaciones resultantes de las mejoras en la EE o componente de eficiencia (Marrero y Ramos-Real, 2013).

En lo referente a los factores que afecta a la IE de acuerdo con Kowal y Fortier (1999) los más importantes que explican la disminución de la IE son los cambios en la estructura de la demanda final de energía, el aumento en la eficiencia de los materiales y en el uso de la energía y, finalmente, la sustitución de materiales y combustibles por otros más eficientes. Por su parte, Ang (1999) también afirma que esta disminución viene explicada, de manera importante por: el cambio estructural en la economía, al cambiar de sectores menos intensivos en energía a otros más intensivos, y por las mejoras que se han producido en la EE. Por lo tanto, podemos concluir que los factores que le afectan a la IE son principalmente dos. El primero de ellos viene promovido por los cambios que se producen en el peso de las diferentes actividades del país (cambio estructural). Es decir, si una economía se desplaza hacia sectores más intensivos en términos energéticos presentará una IE elevada o, al menos, creciente. El segundo factor relevante que afecta a la IE son las mejoras que se producen en la eficiencia en cada sector (componente de eficiencia). Esta eficiencia viene promovida en parte por la adopción de nuevas tecnologías que son más eficientes en el uso energético o también puede venir causada por el uso de nuevas y mejores fuentes energéticas. Estos dos componentes son los responsables tanto de la dirección como del grado en el que evoluciona la IE global (Marrero y Ramos-real, 2005).

En la práctica, esta descomposición suele aplicarse mediante diferentes métodos como el Índice Simple de Laspeyres, el cual mide el porcentaje de cambio en el tiempo de un conjunto de elementos utilizando como ponderadores los valores de un año base. Pero el más utilizado y el que presenta una mayor importancia es el Índice de Divisia de Media Logarítmica (por sus siglas en inglés, LMDI) propuesto por (Ang, 2004). Este consiste en una suma ponderada de tasas de crecimiento logarítmicas, donde los ponderadores son los porcentajes de participación de cada componente. Este método presenta la ventaja de una gran facilidad para ser utilizado e interpretarlo (Agencia Internacional de Energía (IEA), 2015; Marrero y Ramos-Real, 2013).

Para finalizar con este apartado cabe destacar que la IE se puede medir tanto a nivel de conjunto de sectores económicos, por sectores o subsectores y se puede calcular tanto a nivel nacional como regional. Para ello la AIE ha desarrollado un conjunto de indicadores de IE y los

clasifica en forma de pirámide. En la parte superior sitúa a los más agregados y en la base coloca los más desagregados (International Energy Agency, 2016).

4. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

En este capítulo haremos un breve resumen de cómo se ha relacionado la energía con el crecimiento económico. Además, mostraremos diferentes trabajos que han estudiado la relación entre la IE y el crecimiento económico. Posteriormente, analizaremos la evolución que ha experimentado la IE desde 1850 hasta el año 2010. Finalmente, mostraremos cuáles son los factores que afectan a la IE.

4.1 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA: RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO.

La relación entre la energía y el crecimiento económico ha sido objeto de estudio para muchos autores durante la segunda mitad del siglo XX. Entre los acontecimientos más importantes que guían las posteriores investigaciones sobre esta cuestión, destacan por un lado, la publicación de "*Los límites del crecimiento*" (1972)³ y por otro lado, la publicación del *Informe Brundtland* (1987)⁴. Es a partir de este momento cuando se favorece la creencia de que a mayor crecimiento económico se producía una menor utilización de recursos naturales por unidad de producto. A este proceso se le conoce como "desmaterialización de la economía" (Carpintero, 1999). Dicho concepto viene definido como la reducción relativa de la cantidad de materiales utilizados en la producción de una unidad de producto. El primer autor en hablar de este término fue Malenbaum (1978), quien realiza un estudio acerca de los 12 principales metales y minerales a lo largo de 1950-1975 en diez partes del mundo.

³ En el año 1970, el Club de Roma, se trataba de una asociación privada compuesta por empresarios, científicos y políticos, encargaron a un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology bajo la dirección del profesor Dennis L. Meadows, la realización de un estudio sobre las tendencias y los problemas económicos que amenazan a la sociedad global. Los resultados se publicaron en marzo de 1972 bajo el título "Los Límites del Crecimiento". Martínez Coll, Juan Carlos (2006). Manual básico: La economía de mercado. Virtudes e inconvenientes. Chile: *Los límites del Crecimiento*. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centroctic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/250/271/html/economia/18/18-4.htm>

⁴ El Informe Brundtland o "Nuestro Futuro Común" nombre con el que se le conoce comúnmente, fue el primer intento de eliminar la confrontación entre el desarrollo y la sostenibilidad. Fue presentado en el año 1987 por la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, liderado por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland quién trabajó analizando la situación del mundo en ese momento y demostró que el camino que la sociedad global había tomado estaba destruyendo el medio ambiente, ocasionando además, pobreza y vulnerabilidad en las personas. DFM Directorio Forestal Maderero (2017). Forestal Maderero desde la semilla al usuario final. Colombia: *Forestal Maderero*. Recuperado de <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/que-es-el-informe-brundtland.html#comments>

Muchos estudios se han publicado sobre la desconexión entre el crecimiento económico y la utilización de los recursos naturales. Se afirmó que en los países más ricos, aunque en las fases iniciales necesitaban de una mayor utilización de recursos, llegaban a un punto de renta per cápita a partir del cual un mayor crecimiento económico implicaba una menor utilización de recursos y de contaminación. Esto llevó a considerar que la mayoría de países de la OCDE presentaban una relación entre crecimiento económico y el deterioro ambiental en forma de “U” invertida. Como esto ya se había tratado mucho antes por Kuznets, aunque éste se refería a la relación entre el crecimiento y la desigualdad, se le bautizó como la curva ambiental de Kuznets. Fue (Ekins, 1997) quien niega que se cumpla este acontecimiento, señalando además que los datos que utilizan tanto la OCDE como la CE no ofrecen un apoyo considerable y veraz (Carpintero, 1999).

La relación que existe en un momento del tiempo entre la energía final y la energía primaria refleja la EE que presenta un país. Este índice varió ampliamente entre los países de la UE (27) en el año 2008, donde países como Polonia presentaban un 55,6% frente a un 89,7% que tenía Irlanda. Por lo tanto, la IE varía considerablemente tanto en el tiempo como en el espacio, independientemente de que utilicemos la energía primaria o la energía final y esto puede explicarse tanto por la estructura del consumo energético como por la estructura del PIB que presenten dichos países. Para los países de la UE (27), la IE calculada a partir de la energía primaria era en promedio 0,129 Tep por cada 1000 \$ en 2007. Aquellos países con un alto contenido industrial consumirán más energía que los que tengan un PIB en el que predomina la agricultura y el sector terciario, como es el caso de Irlanda con una IE de 0,087 provocada por una estructura agrícola predominante en su PIB, además de por tener un sistema energético bastante eficaz (Tirole, 2014).

Desde principios de la década de 1960 muchos autores estudiaron la disminución de la IE. Este afán era promovido porque no mantenía un comportamiento constante a lo largo del tiempo. Muchos autores que estudian la relación entre el crecimiento económico y la IE descubren que, a medida que el PIB se va incrementando la IE tiende a aumentar, pero cuando éstos alcanzan un nivel determinado esta disminuye. Kowal & Fortier (1999), quienes analizan la IE durante el periodo comprendido entre los años 1970 y 1991, señalan que disminuyó un 25% en los países de la OCDE mientras que en todo el mundo se redujo un 11%. Llegan a la conclusión empírica de que existe una relación que no es constante entre el PIB per cápita y la IE. En su estudio, en el cual explican el comportamiento de este indicador por medio del PIB per cápita, el PIB per cápita al cuadrado y el precio de la energía, demuestran que el comportamiento de la IE tiende a aumentar cuando el país muestra un PIB per cápita bajo y a disminuir cuando es elevado. Afirman además que: *“A la reducción de la intensidad energética con el incremento del PIB se le conoce como desmaterialización”*, término que ya hemos explicado y utilizado anteriormente, para ello recurren al autor (Quah, 1996).

Siguiendo con esta línea, para (Mahmood y Ahmad, 2018) existe una correlación negativa entre la IE y el crecimiento económico. Demuestran que la IE disminuye con el aumento de la tasa de crecimiento del PIB. Además de este hecho, también ponen de manifiesto que este

comportamiento no guarda relación con el hecho de que la IE presente una tendencia bajista durante los últimos años, ya que dicha relación se sigue manteniendo, aunque se controle la tendencia y la inercia de las series de la IE.

Para finalizar con este apartado, es necesario mencionar que la IE puede interpretarse como una elasticidad energía-PIB. Una elasticidad muestra la variación que experimenta una variable ante cambios en la otra. Por lo tanto, una elasticidad energía-PIB ilustra el cambio que experimenta el consumo de energía cuando se producen variaciones en el PIB. Si la elasticidad fuera mayor a la unidad, significaría que los incrementos (o decrementos) experimentados por el consumo de energía son mayores (“más que proporcionales” o “elásticos”) a los que se registran en el PIB. Por el contrario, si la elasticidad fuera menor a la unidad (“menos que proporcional” o “inelástica”), indicaría que los cambios en el consumo energético son menores que los que se experimentan en el PIB. Finalmente, cuando la elasticidad es igual a la unidad, tanto el consumo energético como el PIB cambian en la misma proporción (Tirole, 2014).

4.2 LA EVOLUCIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA

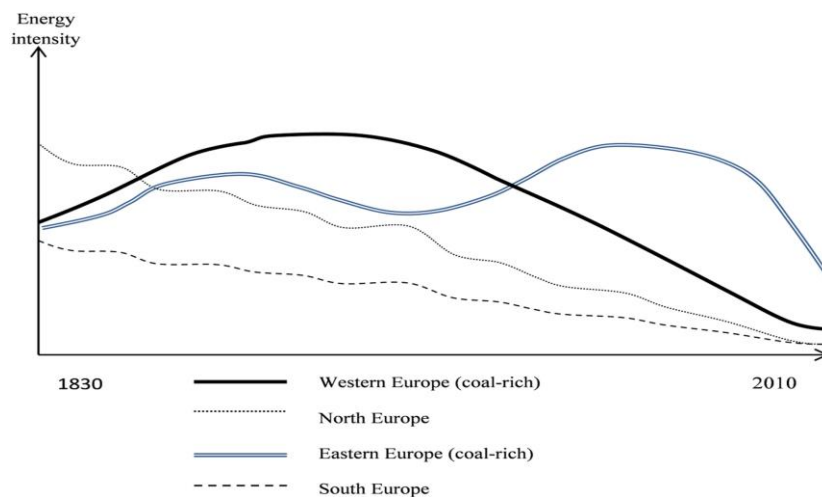
Para la explicación de este apartado utilizaremos lo comentado por (Tirole, 2014). La evolución de la IE también ha sido analizada por muchos autores. Desde 1850 hasta el año 1980 en los países industrializados la elasticidad de la IE ha sido positiva, pero en valores absolutos en algunos casos llegó a ser mayor que la unidad y en otros, inferior a ésta. En general, los estudios realizados diferencian tres fases fundamentales cuando examinan la IE. La primera de ellas es una fase de crecimiento continuo que va desde 1850, hasta alcanzar un punto máximo que varía dependiendo del país objeto de estudio. Este punto lo encontramos en el año 1880 (Reino Unido), 1920 (Estados Unidos) o 1970 (Japón). Entre los factores causantes de este aumento destacaría la evolución de la estructura de la producción de bienes y servicios, donde nos encontramos con una industrialización en la que predomina la industria pesada.

Por otro lado, existe una segunda fase de disminución continua de la IE, que empieza desde los años comentados anteriormente. La explicación de este fenómeno la encontramos en los avances tecnológicos, en la eficacia de los nuevos productos energéticos como el petróleo y en el cambio que se produce en la industria, donde cobran mayor peso las industrias ligeras y el sector terciario. En el caso de Estados Unidos esta disminución se produce hasta el año 1960. Finalmente, durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 1960 y 1973 se produce una relativa estabilización de la IE en la mayoría de países industrializados (exceptuando a Japón e Italia). Entre los factores destacan: la desaceleración de los rendimientos energéticos, una tercerización más intensiva y también por el importante desarrollo de la informática que es una cantidad de gran consumo de electricidad.

Por lo tanto, podemos observar una evolución en forma de “campana” y nos podría hacer creer que todos los países industrializados tendrían que pasar por ella, pero esto no es así, ya que el pico que se alcanza tiende a disminuir con el paso de los años, lo que es una buena noticia para los países en desarrollo. En el gráfico 1, podemos observar como los países

del norte y del sur de la Unión Europea presentaron una reducción gradual de la IE durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 1830 y el 2010. Aunque cabe destacar que el comportamiento que experimentó el sur fue más paulatino comparado con el norte. Sin embargo, los países del este y del oeste presentan una evolución de la IE en forma de “campana”, pero el pico alcanzado por éstos no corresponde al mismo instante del periodo de análisis. El motivo de este acontecimiento radica en que los países han alcanzado su desarrollo en distintos momentos del tiempo (Nielsen, Warde, y Kander, 2018). En conclusión, es importante señalar que la IE varía en función de los distintos aspectos que hemos señalado anteriormente, pero también influye sobre ella el estado de desarrollo en el que se encuentre el país, ya que esta es una de las causas diferenciadoras entre la IE de unos países con respecto a otros.

1. Gráfico de la intensidad energética en los países de la Unión Europea en el periodo de análisis comprendido entre el año 1830 y el año 2010.

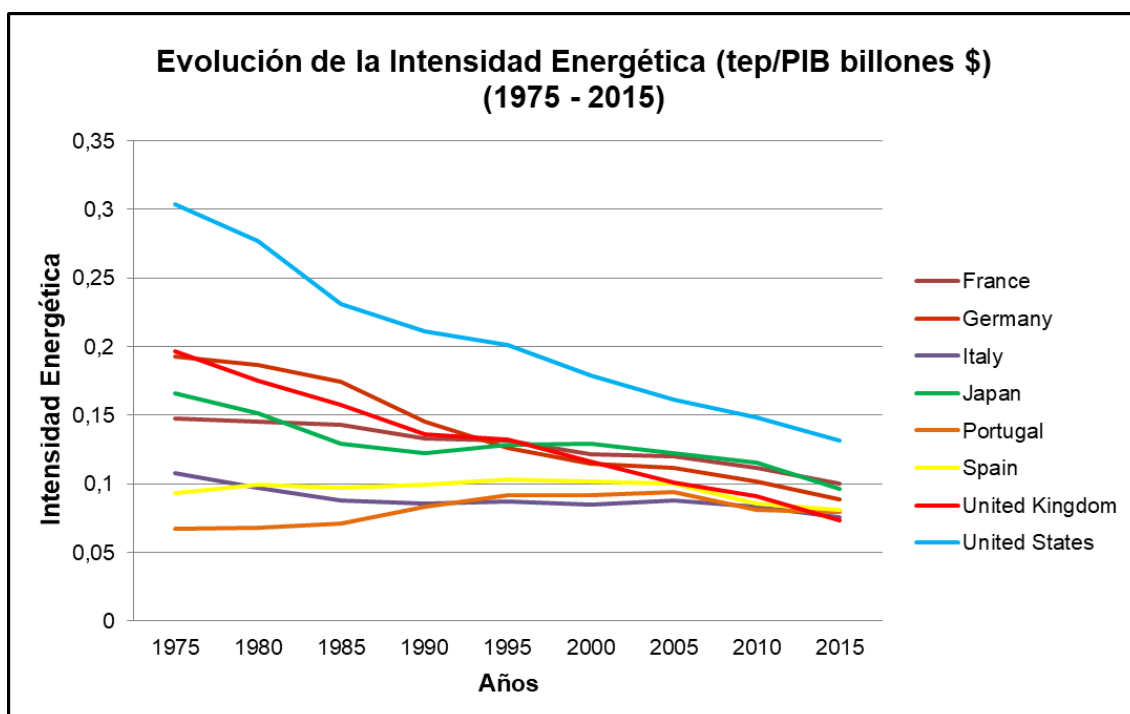


Fuente: (Nielsen et al., 2018). East versus West: Energy intensity in coal-rich Europe, 1800–2000. *Energy Policy*, 122 (January), 75–83. Consultado el día 30/01/19 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.006>

Si nos adentramos a un contexto más global, podemos observar cómo entre el año 1980 y el 2010 la IE se reduce (ver gráfico 2). En algunos estudios como el llevado a cabo por Sadorsky (2013), se observa que de un total de 76 países en desarrollo, en la mayoría de ellos la IE presentó este comportamiento. Por ejemplo, en el año 2010 experimentó una reducción del 27% en comparación con la que presentaba en el año 1980. Pero esta disminución no se ha producido con la misma fuerza en los países con ingresos altos que en los países con ingresos medios y bajos. En los primeros la IE ha presentado una disminución durante los últimos 30 años desde 1980. Sin embargo, para los segundos, la reducción fue de un 23% en el mismo periodo. Por lo tanto, parece que los países con ingresos altos tienden a ser más eficientes en el uso de la energía que los países con ingresos medios o bajos.

Siguiendo en esta línea, la investigación llevada a cabo por (Wang, 2013), también confirma que la IE ha disminuido durante el mismo periodo que comentábamos anteriormente, donde de un total de 69 países que examina, observa que 43 de ellos experimentaron una disminución. Por lo tanto, podemos observar que en la actualidad existe una disparidad en lo referente a los cambios en la IE. Por un lado, existen países que presentan un incremento y por otro lado, hay países que muestran una disminución. Esta última fue de un 1% anual en el periodo de 30 años. No obstante, en los países pertenecientes a la OCDE, en promedio, presentaron tasas más rápidas de disminución de la IE.

2. Gráfico de la evolución de la intensidad energética en algunos países durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 1975 y el año 2015.



Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Elaboración propia.

5. LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y SU RELACIÓN CON OTRAS MAGNITUDES

En este capítulo analizaremos, en primer lugar, las emisiones de CO₂ dado que es una variable que se suele relacionar con la IE. Esto viene promovido porque una disminución en esta última provocaría una reducción de las emisiones de los GEI y con ello, una reducción de los efectos negativos del cambio climático. En segundo lugar, estudiaremos distintas variables que explican la evolución de la IE, en particular, examinaremos la industrialización y la urbanización debido a su importancia.

5.1 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LAS EMISIONES DE CO₂

Como se comentó al inicio de este documento, las emisiones de CO₂ no es una variable que explique la IE. Sin embargo, en la literatura se suele utilizar porque es una variable con la que a menudo se suele relaciona a la IE. Este hecho viene promovido porque el consumo de la energía es una de las actividades que mayor cantidad de emisiones provoca. Es responsable de alrededor de dos tercios del total de los GEI que se producen en nuestro planeta. Por lo tanto, es viable que exista una relación entre la IE y las emisiones de CO₂. En ese caso, si se consiguiese disminuir la IE se podría contribuir a minorar los gases nocivos. Es por ello que muchos autores a lo largo de los últimos años y con la creciente preocupación sobre el medio ambiente, hayan querido corroborar la existencia de tal relación.

Un ejemplo es comentado en la investigación llevada a cabo por Giampietro, Mayumi, y Ramos-martin (2008), quienes analizan la evolución de las emisiones de CO₂ en los países más importantes del mundo durante el periodo de análisis comprendido entre el año 1971 y el año 2001. En el estudio llegan a la conclusión de que entre los factores principales que explican el aumento de las emisiones se encuentran el crecimiento del PIB per cápita y el aumento de la población, sobre todo, en las regiones económicamente menos desarrolladas. Además, demuestran la relación existente entre la IE y las emisiones de CO₂, ya que la influencia de estos factores mencionados se ha visto compensada por la reducción que ha experimentado la IE en algunos lugares del mundo. En cuanto a las herramientas que utilizan destaca el análisis de los factores de la intensidad de Kaya. Según la ecuación de Kaya, las emisiones nacionales de CO₂ se descomponen en el producto de cuatro factores determinantes: el índice de carbonización, la intensidad energética, el PIB per cápita, y el tamaño de la población (Rossi, 2002).

Para Shahbaz, Solarin, Sbia y Bibi (2015) también la IE y las emisiones de CO₂ están claramente relacionadas. Concretamente, para estos autores el aumento de la IE tiene un impacto positivo sobre las comentadas emisiones. Para llegar a dicha conclusión analizan los datos de países de África subsahariana. En lo referente a la metodología, se diferencian de los anteriores autores en que éstos se apoyan en la cointegración de paneles que les permite examinar la relación a largo plazo de las series. Además, utilizan el método de causalidad de Granger que se trata de un modelo de vectores de corrección de errores (por sus siglas en inglés, VECM).

Con los autores anteriores coinciden Hatzigeorgiou, Polatidis y Haralambopoulos (2011) quienes también utilizan las pruebas de error de Granger basadas en VECM. En este caso realizan un estudio en Grecia con el objetivo de determinar la causalidad entre el PIB, la IE y las emisiones de CO₂ desde el año 1997 hasta el 2007. Finalmente, llegan a la conclusión de que existe una relación bidireccional entre las emisiones de CO₂ y la IE, indicando a su vez que una estructura más eficiente del sistema energético provocará menores emisiones.

Asimismo, existe un trabajo importante que analiza la relación entre la IE y las emisiones de CO₂, pero ya enfocado hacia la importancia que desempeñan las ciudades en este ámbito.

Se trata del trabajo elaborado por Dhakal (2009) en el que pretende ver la dinámica interna que existe en las zonas urbanas entre la IE y las emisiones de CO₂ de las treinta y cinco ciudades más importantes de China. Llega a la conclusión de que las áreas urbanas determinarán cada vez más el consumo de energía y que esto es clave a la hora de que el gobierno elabore una estrategia nacional para conseguir una mejora en el desarrollo urbano y en el rendimiento energético. Además, pone de manifiesto que en las ciudades se han ocasionado el 40% del total de las emisiones que se produjeron en este país en el año 2006 y que, a pesar de que pueden presentar una población baja, éstas necesitan de una elevada cantidad de energía.

5.2 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LA INDUSTRIALIZACIÓN

En lo referente a la relación de la industrialización con la IE, cabe señalar que los estudios que se han realizado se centran en investigar si existe dicha relación y en identificar si ésta afecta a la IE de forma positiva o negativa. Las investigaciones que se han elaborado acerca de este hecho han sido numerosas a lo largo de los años. El interés por investigar este acontecimiento radica en que la industria es un sector muy intensivo en energía por lo que su análisis puede ayudar a tomar medidas oportunas con la consecuencia de llegar a conseguir ahorros energéticos importantes. Uno de los países en los que predominan estos estudios es en China dado que es uno de los países con mayor consumo de energía, lo que provoca que sus gobernantes políticos se estén preocupando por reducir la IE.

La industria a nivel global representa una gran cantidad del CFT de energía, concretamente, para el año 2011 la participación de la industria era de una cuarta parte, sin embargo, en el año 1973 fue de un tercio. Dicha proporción varía en función del desarrollo industrial de cada país y la intensidad que presente el sector en la economía (International Energy Agency, 2016). Esta importante participación de la industria ha hecho que se incrementen el número de investigaciones sobre este acontecimiento y, a su vez, que presente una mayor importancia su estudio.

La industrialización suele medirse como el valor total añadido de la industria que, básicamente, es el valor añadido total del sector industrial que representa su grado de aportación al PIB. Normalmente, viene expresado en forma de porcentaje y viene a ser una aproximación del peso de la industria respecto del PIB. La mayoría de estudios llegan a la conclusión de que, a mayores niveles de industrialización en el país, mayor IE. Miketa (2001) analiza el desarrollo de la IE durante el periodo de tiempo comprendido entre 1971 y 1996. Para ello realiza un panel para diez industrias manufactureras utilizando datos agrupados de 39 países pertenecientes a la OCDE, así como otros países de Asia y América Latina. Finalmente, llega a la conclusión de que claramente el tamaño de la industria afecta a la IE que presenta el país, además, afirma que cuanto mayor sea el crecimiento experimentado por la industria, mayor cantidad de energía consume y, por lo tanto, se incrementará su IE. Autores como Feng, Sun y Zhang (2009), quienes analizan la IE durante el periodo de tiempo comprendido entre 1980 y el año 2006 en China, llegan a la misma conclusión, es decir, existe una relación entre la IE, la estructura de consumo de energía y la estructura económica.

Otros autores como Hasanbeigi, de la Rue du Can y Sathaye (2012) analizan la demanda de la energía en la industria de California entre 1997 y el 2008 para ello estudian el uso y la producción de energía en diecisiete subsectores. Utilizan el método del Índice Logarítmico de Divisia Media para el análisis de la descomposición y así poder comprobar cuáles son los factores que han provocado la disminución en el uso de energía en la industria. Finalmente, llegan a la conclusión de que la reducción en la demanda de energía no sólo se produjo por la reducción de la IE, sino que también los efectos estructurales tuvieron gran importancia, sobre todo, por la disminución de la participación de subsectores como el de la extracción de petróleo y gas que requieren de un consumo elevado de energía.

Reddy y Ray (2011) examina la IE para cinco subsectores industriales en la India entre el año 1991 y el 2005. Llegan a la conclusión de que el sector industrial de la India ha conseguido reducciones en la IE, concretamente, en la producción de cemento, textiles, papel y pulpa. Señalan además que, estos ahorros puede que no se deban solo a las mejoras en la EE, sino que también vienen provocados por la reducción en el uso de combustibles, debido al aumento de los precios.

Como hemos podido observar, dado que la gran mayoría de los autores alcanzan las mismas conclusiones en lo referente a la relación entre la industrialización y la IE, no se extenderá en mayor sentido el repaso teórico en este apartado. Sin embargo, es útil para ilustrar que una variable importante que se utiliza para explicar la evolución de la IE.

5.3 LA INTENSIDAD ENERGÉTICA Y LA URBANIZACIÓN

En lo referente a la urbanización entendida como el porcentaje de la población que vive en las áreas urbanas sobre la población total, debemos destacar que su importancia radica en que numerosos estudios han demostrado que va a seguir aumentando (Sadorsky, 2013). El aumento se producirá tanto en las regiones más desarrolladas del mundo como en las menos desarrolladas, con el matiz de que, en éstas últimas, la urbanización crecerá más rápido. Se espera incluso que la urbanización en estas zonas se triplique y pase de ser un 18% en el año 1950 a representar el 67% para el año 2050 (Sadorsky, 2013). Es aquí donde radica la importancia de su estudio, dado que este crecimiento implicará una mayor presión sobre los recursos naturales, sobre todo, un consumo energético más elevado.

En cuanto a la relación entre la urbanización y la IE, debemos mencionar que existen dos tendencias. La primera de ellas aboga por el hecho de que la urbanización, al generar mayor actividad económica, provoca mayor consumo y producción. En consecuencia, aumenta la IE. Por ejemplo, la creación de nuevas viviendas, carreteras e infraestructuras las cuales son necesarias para conseguir una mayor conectividad dentro de la ciudad y reflejan una mayor tasa de urbanización, provocando un consumo energético más elevado (Press, 2019). Además, cabe añadir el problema de que se producen deseconomías de congestión que, esencialmente se trata de una externalidad negativa provocada por la aglomeración dentro de las ciudades. Por

otro lado, existe una segunda tendencia donde se señala que la urbanización favorece que se produzcan economías de escala originando así mayores facilidades y, con ello, una reducción de la IE (Press, 2019).

En la literatura existente se señala que la urbanización presenta cuatro canales a través de los cuales puede influir en el consumo de energía. El primero de ellos es las transformaciones en la producción dado que la urbanización estimula el cambio hacia actividades más intensivas en energía. El segundo canal es el cambio que se produce en el comportamiento de los consumidores. Los ciudadanos, al encontrarse con ingresos crecientes, pueden cambiar sus patrones de consumo hacia aquellos productos más intensivos en energía. El tercero de estos canales es la provisión de infraestructuras públicas que, a su vez, requiere de otras infraestructuras adicionales, incrementando el consumo energético y, por tanto, la IE. Cabe destacar que también favorece la utilización eficiente de la energía, lo que al mismo tiempo podría a reducir la IE. Finalmente, el cuarto canal es la influencia en los servicios del transporte. El motivo radica en la concentración de la población en la ciudad, lo que origina que el número de personas que se quiere desplazar sea mayor. Además, al crecer la urbe los ciudadanos tienen que realizar una mayor distancia en sus desplazamientos con el aumento de la IE que esto representa (Yan, 2015).

Más recientemente, se ha llegado a la conclusión de que el aumento de la urbanización provoca un incremento de la productividad energética al disminuir la IE, tanto en el corto plazo como en el largo (Bilgili, Koçak, Bulut, y Kuloğlu, 2017). En el estudio las variables independientes que utilizan son el PIB per cápita, la urbanización y como novedad se introduce la variable de la ruralización, además del cuadrado del PIB per cápita. Los datos son obtenidos para diez países asiáticos en el periodo de tiempo comprendido entre 1990-2014. La estimación se lleva a cabo por grupos de media aumentada a través de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets. Otro trabajo de vital importancia en lo referente a la urbanización es el elaborado por (Dhakal, 2009) quien sienta un precedente en este sentido, al utilizar variables como el consumo de energía urbana, el consumo de energía urbana per cápita o la proporción energética per cápita urbana y la nacional, además de lo que representa la participación de la energía urbana en el total, recogiendo de una forma bastante precisa lo que representa la urbanización. Finalmente, llega a la conclusión de que a pesar de que las ciudades presenten una población baja, éstas necesitan de enormes cantidades de energía y emiten un número elevado de GEI.

Dada la fuerte relación que existe entre la IE y variables como la industrialización y la urbanización, es razonable que se hayan realizado investigaciones que relacionan estos dos elementos de forma conjunta. Además, esta tendencia se ha visto incrementada con el paso de los años. Ejemplo de ello es la investigación llevada a cabo por Sadorsky (2013), quien utiliza un modelo de datos de panel dinámico para comprobar esta relación, dado que considera que este tipo de modelos facilita el cálculo de las elasticidades tanto a corto como a largo plazo. Entre las variables independientes que utiliza destaca el ingreso (medido como logaritmo natural del PIB real per cápita), la urbanización (medida como la fracción de la población que vive en las áreas urbanas) y, finalmente, la industrialización (valor agregado como % del PIB). El trabajo concluye

que, el efecto del ingreso es negativo, es decir, aumentos en el ingreso disminuyen la IE. Sin embargo, el efecto de la industrialización es positivo. Por su parte, con la urbanización obtiene un resultado mixto. Obtiene que el coeficiente estimado en la variable de la urbanización es estadísticamente significativo en menos de la mitad de las especificaciones estimadas, pero sólo es significativo en uno de cada tres modelos dinámicos. Lo que nos viene a decir, es que, la urbanización afecta positivamente a la IE a través del aumento de la actividad económica y un incremento tanto del consumo como de la producción. Pero por otra parte, le afecta negativamente al producirse economías de escala que favorecen la oportunidad de reducir costes y aumentar la EE.

Otros autores como Belloumi y Alshehry (2016) también analizan la relación de la IE con el PIB per cápita, la urbanización y la industrialización. En cambio, deciden introducir la variable de los servicios a diferencia de Sadorsky, medidos por el valor agregado de los servicios como una proporción del PIB. Sin embargo, la industrialización es medida por el valor agregado de la industria como porcentaje del PIB. En este caso, el estudio es de Arabia Saudita durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 1971-2012, utilizando las pruebas de raíz de unidad de punto de ruptura y el desfase autorregresivo distribuido (por sus siglas en inglés, ARDL). En el estudio, llegan a la conclusión de que existe una relación entre las variables comentadas anteriormente y la IE. A través de la estimación demuestran que la urbanización afecta positivamente a la IE. Este dato es relevante dado que el proceso de urbanización de Arabia Saudita lleva a un aumento considerable de la IE. Finalmente, los autores proponen que se debería de tomar medidas que desaceleren el rápido proceso de urbanización y así, poder conseguir una reducción de la IE.

Autores como Farajzadeh y Nematollahi (2018) consideran también en su estudio el ingreso (medido por el PIB per cápita), la urbanización (medida como proporción de la población urbana) y la industrialización (expresada por la participación de la industria en el PIB), coincidiendo con Sadorsky (2013), Belloumi y Alshehry (2016), pero añadiendo además el ingreso al cuadrado, el precio de la energía, capital-trabajo, capital-trabajo al cuadrado, la integración económica y finalmente la inversión extranjera directa (IED). Basan su estudio en el caso de Irán, llevando a cabo un análisis de regresión junto con un Análisis de Descomposición del Índice (por sus siglas en inglés, IDA). También emplean la Red Neuronal Artificial (por sus siglas en inglés, ANN) para pronosticar la tendencia. Los datos utilizados en el estudio van desde 1973 hasta el año 2013. Finalmente, llegan a la conclusión de que el aumento que experimentó la IE no solo viene explicado por la eficiencia decreciente en el consumo de energía. Por su parte, tanto la urbanización como una mayor relación capital-trabajo presentan un efecto negativo. Recomiendan que se realice una inversión en el desarrollo de tecnologías avanzadas, sobre todo, en las actividades que estén relacionadas con el sector industrial ya que contribuye a disminuir la IE y también proponen la eliminación de las barreras comerciales.

Para concluir con este apartado es necesario mencionar que, dentro de la literatura del desarrollo económico encontramos que el crecimiento económico está relacionado tanto con la urbanización como con la industria. Ejemplos de este acontecimiento los encontramos en

autores como Castells-Quintana y Royuela (2014) quienes estudian la relación entre la urbanización, la desigualdad y el crecimiento económico. Estos autores no defienden tan claramente que se deba apostar políticamente por favorecer la concentración urbana, ya que han estudiado que en los países donde las personas vivían en pequeñas o medianas ciudades presentaban menores desigualdades que los países con gran cantidad de personas viviendo en las grandes ciudades. Otro ejemplo lo vemos en autores como Zhang (2011), quien estudia la relación entre la industria de servicios, la urbanización y el crecimiento económico en China. Finalmente llega a la conclusión de que existe una relación entre ellos a largo plazo. Por un lado, el desarrollo de la industria de los servicios aporta una contribución positiva al crecimiento económico y, a su vez, el crecimiento económico provocará la expansión de los servicios. Por lo tanto, el crecimiento económico también impulsará el progreso de la urbanización y de los servicios.

Sin embargo, a pesar de lo que hemos demostrado que expresa la literatura del desarrollo económico en lo concerniente a la relación que existe entre el crecimiento económico, la urbanización y la industrialización, por su parte, la literatura energética no ha proporcionado numerosos estudios sobre la relación entre la IE y la urbanización como se ha podido observar en este apartado. Por lo tanto, en base a lo analizado hasta el momento, podemos darnos cuenta de que existe un hueco en la literatura en lo referente a la posible relación que podría existir entre la IE y la urbanización. Demostrar la existencia de tal relación es el objetivo fundamental de este trabajo y para ello realizaremos una pequeña aplicación empírica.

6. APLICACIÓN EMPÍRICA

En un contexto en el que observamos los efectos que está ocasionando el cambio climático resulta interesante estudiar qué medidas se podrían tomar para minorar sus efectos negativos. En este sentido, la EE se presenta como una posible solución al problema ya que se conseguiría reducir enormemente la cantidad de energía que se utiliza hoy en día. El indicador que se utiliza para medirla es la IE que consiste en la ratio entre el consumo de energético y el Producto Interior Bruto (PIB). De acuerdo con la revisión teórica que hemos realizado y con la escasez de trabajos que se ha detectado relacionando la IE y urbanización que se ha detectado, parece interesante realizar una contribución en esta línea. En este apartado comprobaremos empíricamente la existencia de esta posible relación a través de una regresión lineal múltiple para 30 países de la OCDE en el periodo 1975-2010.

6.1 METODOLOGÍA

En la literatura, son muchas las variables que se han utilizado para analizar las variables que afectan a la IE. En nuestro caso las variables incluidas son: la intensidad energética (*IE*) que será nuestra variable dependiente. Como variables independientes utilizaremos el producto interior bruto per cápita (*PIB_{pc}*), el precio de la energía (*PE*), el valor añadido bruto que representa la industria sobre el PIB (*VAB_{IND}*), el tamaño de los países expresado en millones de kilómetros al cuadrado (*Mkm²*), la urbanización (*UR*), calculada como el porcentaje de la

población que vive en las ciudades, la urbanización al cuadrado (UR^2) y finalmente, como variables dummy hemos empleado la variable ($Year_{code}$), que recoge los efectos fijos del tiempo y por otro lado, ($Country_{group}$), para capturar los efectos fijos de los países.

Para la elaboración del modelo utilizamos el programa “Stata, 13” y el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO, según sus siglas en inglés (OLS). El modelo de regresión se expresa en la siguiente Ecuación 11:

$$\begin{aligned} LnIE_{it} = & \beta_0 + \beta_1 LnPIBpc_{it} + \beta_2 VAB(Ind)_{it} + \beta_3 PE_{it} \\ & + \beta_4 LnMKm^2_i + \beta_5 UR_{it} + \beta_6 UR^2_{it} + Year_{code} \\ & + Country_{group} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (11)$$

donde el subíndice i ($i=1, \dots, N$) representa el país y el subíndice t indica el año elegido que va desde 1975 hasta el año 2010. La variable dependiente, $LnIE$, es la intensidad. Este estudio presenta seis variables independientes que son: el $LnPIBpc$, nos indica el PIB per cápita de cada país expresado en logaritmo neperiano. Por otro lado, el $VAB(Ind)$ viene indicado en porcentajes y representa el Valor Añadido Bruto (VAB) de la industria sobre el PIB de cada país, PE , representa el índice de precios de la energía tanto de la industria como de los hogares, $LnMKm^2$ es el logaritmo neperiano de los kilómetros al cuadrado de superficie de cada país. Además, las variables tanto de la UR como de la UR^2 hacen referencia a la tasa de urbanización de cada país. Las variables $Year_{code}$ y $Country_{group}$ son variables “dummy” que han sido empleadas para capturar los efectos fijos del tiempo y de país respectivamente. Finalmente, ε_{it} representa el término de error aleatorio. En la tabla 1 se pueden observar las diferentes variables que hemos utilizado en el estudio. Se exponen no solo las unidades en las que vienen explicadas, sino, además, un pequeño resumen estadístico con la información más relevante que presentan. Destacamos sobre todo sus valores tanto mínimos como máximos, su valor medio, la desviación típica y finalmente, la fuente de donde ha sido consultada la información perteneciente a dichas variables.

Tabla 1. Definición y descripción de las variables utilizadas en el estudio para los 30 países de la OCDE seleccionados y para el periodo de tiempo comprendido entre el año 1975 y el 2010.

<i>Variable</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidades</i>	<i>Años</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Dev.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Fuente</i>
<i>LnEI</i>	Ln de la intensidad energética.	(tpes/PIB) precios constantes 2010 US\$	(1975 - 2010)	-1,970	0,381	-2,783	-0,800	(AIE)
<i>LnPIBpc</i>	Ln del PIB per cápita.	(PIB/Population)	(1975 - 2010)	10,066	0,478	8,205	11,011	(AIE)
<i>VAB(Ind)</i>	Valor Añadido Bruto (VAB) de la industria.	(VAB industrial/PIB) (%)	(1975 - 2010)	27,856	4,747	13,827	41,106	(WBG)
<i>PE</i>	Precio de la energía.	Índice de precios (2010=100)	(1975 - 2010)	80,342	15,585	7,9	133,1	(AIE)
<i>LnMkm²</i>	Ln de la superficie del país.	Millones de kilómetros al cuadrado	(1975 - 2010)	-1,398	1,596	-3,463	2,260	(WBG)
<i>UR</i>	Urbanización, entendida como la parte de la población que vive en las áreas urbanas.	(Total de la población/nº de personas que residen en el área urbana) (%)	(1975 - 2010)	0,729	0,108	0,407	0,976	(WBG)
<i>UR²</i>	Urbanización al cuadrado, entendida como la parte de la población que vive en las áreas urbanas.	(Total de la población/nº de personas que residen en el área urbana) (%)	(1975 - 2010)	0,543	0,154	0,166	0,953	(WBG)

Fuente: Elaboración propia.

Notas: Las siglas (AIE) indican que la información ha sido extraída de la Agencia Internacional de la Energía. Por otro lado, (WBG), indica que la información procede del World Bank Group.

6.2 DATOS

El conjunto de datos consta de un panel de 30 países pertenecientes a la OCDE los cuales se recogen en la Tabla 1, exceptuando los países de Lituania, Letonia, Israel, Luxemburgo, Islandia y Estonia que han sido eliminados por falta de datos en alguna de las variables relevantes utilizadas para el modelo. El periodo de tiempo objeto de estudio es el comprendido entre el año 1975 hasta el año 2010. El conjunto de datos se obtuvo a partir de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y el Word Bank Group (WBG).

Tabla 2. Países utilizados en el estudio.

Países de la OCDE utilizados en la investigación	
Alemania	Irlanda
Australia	Italia
Austria	Japón
Bélgica	México
Canadá	Noruega
Chile	Nueva Zelanda
Corea	Países Bajos
Dinamarca	Polonia
España	Portugal
Estados Unidos	Reino Unido
Estonia	República Checa
Finlandia	República Eslovaca
Francia	Suecia
Grecia	Suiza
Hungría	Turquía

Fuente: El listado de países ha sido obtenido de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Consultada el 24 de febrero de 2019 en: <http://www.oecd.org/centrodemexico/laoecd/miembros-y-socios-ocde.htm>

En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación de las diferentes variables utilizadas en el modelo. Se identifica no solo el signo de la relación, sino también la magnitud, además, se expone la significación que presenta la correlación, con el fin de demostrar que no existe multicolinealidad entre las variables del estudio. La multicolinealidad podría llevar a interpretaciones erróneas de los resultados obtenidos. Existe un único caso en el que la correlación es muy elevada y presenta signos de multicolinealidad, concretamente se trata de la variable UR y UR². No obstante, el resultado obtenido es obvio ya que están relacionadas entre sí al ser una variable el cuadrado de la otra.

Tabla 3. Coeficientes de correlación.

	<i>lnIE</i>	<i>LnPIBpc</i>	<i>VAB (Ind)</i>	<i>PE</i>	<i>Mkm²</i>	<i>UR</i>	<i>UR²</i>
<i>lnIE</i>	1,0000						
<i>LnPIBpc</i>	-0,2400 (0,000)	1,0000					
<i>VAB(Ind)</i>	0,262 (0,000)	-0,4027 (0,000)	1,0000				
<i>PE</i>	-0,3810 (0,000)	0,3571 (0,000)	-0,1837 (0,000)	1,0000			
<i>LnMkm²</i>	0,1755 (0,000)	0,0160 (0,6027)	0,0931 (0,0120)	0,0206 (0,5296)	1,0000		
<i>UR</i>	0,1200 (0,000)	0,4261 (0,000)	-0,1298 (0,0004)	0,1479 (0,000)	0,1898 (0,000)	1,0000	
<i>UR²</i>	0,1145 (0,000)	0,4106 (0,000)	-0,1437 (0,0001)	0,1476 (0,000)	0,1683 (0,000)	0,9941 (0,000)	1,0000

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Entre paréntesis viene recogida la significación de la variable.

6.3 RESULTADOS

El modelo que hemos realizado cuenta con un total de 658 observaciones, además, conjuntamente es significativo y presenta signos de que parece ser un modelo adecuado ya que, tanto los test de normalidad de los residuos como el R^2 así lo demuestran. El primero de ellos al elaborar el histograma presentaban una forma de campana que expresaba una aparente normalidad. En cuanto al R^2 , podemos decir que a primera instancia parece ser elevado pero la razón radica en la utilización de variables que pretenden capturar los efectos fijos como son $Year_{code}$ y $Country_{Group}$. La Tabla 4 contiene los resultados de la regresión. En dicha tabla podemos encontrar los coeficientes estimados para cada variable obtenidos en la regresión según el conjunto de países utilizado y el periodo de estudio (1975-2010). Por un lado, podemos identificar la desviación típica, el valor del estadístico t , la significación de los coeficientes y finalmente, los intervalos de confianza. Por otro lado, se muestran algunos datos relevantes de la regresión que comentaremos a continuación.

Tabla 4. Resultados de la regresión

<i>lnIE</i>	Coef.	Std. Err.	t	p > t	[95% Conf. Interval]	
<i>LnPIBpc</i>	-0,26303	0,02766	-9,51	0,000***	-0,31736	-0,20870
<i>VAB(Ind)</i>	0,00067	0,00067	0,51	0,610 n.s.	-0,00192	0,00327
<i>PE</i>	-0,00346	-0,00379	-9,14	0,000***	-0,00421	-0,00272
<i>LnMkm²</i>	0,97666	0,12951	7,54	0,000***	0,72229	1,23103
<i>UR</i>	0,04680	0,06996	6,69	0,000***	0,03306	0,06054
<i>UR²</i>	-0,00024	0,00050	-4,97	0,000***	-0,00034	-0,00015
<i>Constante</i>	-9,81599	0,33123	-29,63	0,000***	-10,46653	-9,16545
<hr/>						
<i>Year_{code}</i>						
(Efecto fijo de tiempo)			Sí			
<hr/>						
<i>Country_{Group}</i>						
(Efecto fijo de país)			Sí			
Number of obs.= 658		Prob > F = 0,0000		Adj. R-squared = 0,9547		
F ((65, 592) = 214,02		R-squared = 0,9592		Root MSE = 0,6499		

Notas: Las regresión se estiman utilizando datos de panel dinámico para los 30 países seleccionados y para el periodo de tiempo comprendido entre 1975 y el año 2010. Se utiliza el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para su resolución. Las siglas n.s nos indican que la variable no es significativa. La importancia estadística de los coeficientes se observa en el nivel del 1% (***).

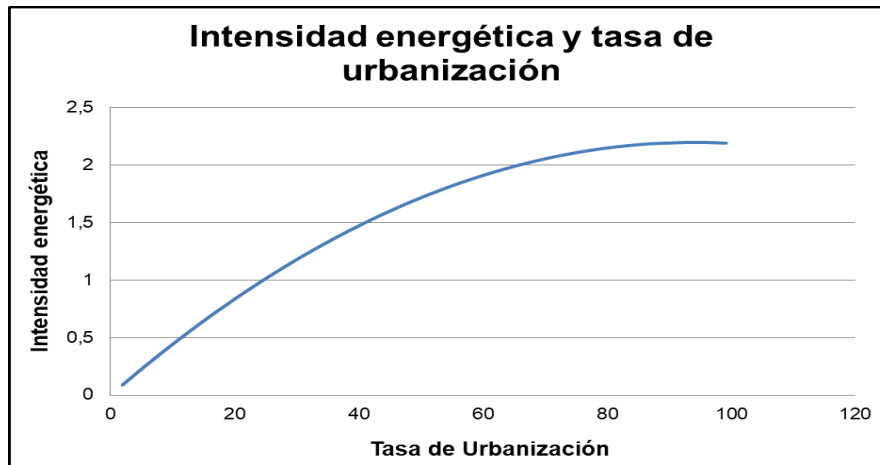
***, **, * representan respectivamente, significaciones al 1%, al 5% y 10%.

El *LnPIBpc* es significativo al 1%. Presenta un coeficiente de -0,26303 por lo que presenta una relación negativa. Esto nos indica que si el *LnPIBpc* aumenta un 1% la IE disminuye un 0,26%. Por tanto, la IE es inelástica frente a las variaciones en el *LnPIBpc* dado que es menor a la unidad, es decir, la IE varía menos que proporcionalmente que el cambio que se produce en el *LnPIBpc*. Este resultado que hemos obtenido es el esperado ya que otros autores que han estudiado esta relación también han obtenido tanto el mismo signo como un valor aproximado a éste (Mahmood y Ahmad, 2018). En segundo lugar, el *VAB(Ind)* no es significativo a pesar de que en los estudios realizados con anterioridad aparece normalmente como significativo. En nuestro caso presenta un coeficiente de 0,00067 lo que nos muestra que tiene un signo positivo sobre la IE, es decir, si el *VAB(Ind)* aumenta un punto, la IE lo hace un 0,06%. La variable de los PE, podemos decir que son significativos al 1% y que presentan un coeficiente de -0,00346. Dado que su signo es negativo, si los *PE* aumentan en un punto, la IE disminuye un 0,3%. Vemos en este caso que la IE es inelástica dado que es menor a la unidad. El resultado que obtenemos es el esperado ya que es el mismo que se obtiene en la literatura (Á & Tu, 2007). Para la superficie del país, *LnMkm²*, obtenemos que la variable es significativa y el

resultado muestra es el que esperábamos ya que es positivo. Esta variable la hemos utilizado como variable de control ya que se espera que a mayor tamaño del país mayor será su IE. Obtenemos un coeficiente de 0,97666, por lo tanto, ante un aumento del 1% en el $LnMkm^2$, la IE aumenta un 0,97%, es decir, existe una elasticidad casi unitaria lo que nos muestra que ante una variación del 1% en $LnMkm^2$ la IE varía casi un 1%.

En cuanto a la UR , observamos que obtenemos el resultado esperado ya que es positivo (0,04680), esto nos indica que, si la UR aumenta un punto, la IE lo hace en un 4,68%. Por lo tanto, al ser mayor que la unidad la IE responde más que proporcionalmente al cambio que se produce en la UR , coincidiendo este resultado positivo con el obtenido por (Belloumi y Alshehry, 2016). Por otro lado, la variable UR^2 tiene un coeficiente de -0,00024. Para explicar este último acontecimiento hemos elaborado el Gráfico 3. Tras realizar una estimación de la urbanización utilizando la variable UR y UR^2 observamos que, si bien con el aumento de la UR la IE se incrementa, existe un punto a partir del cual, la IE comienza a decrecer. Este punto puede detectarse gracias a la introducción de UR^2 la cual, demuestra ser significativa al 1% y negativa. Concretamente, cuando la urbanización alcanza el 97,5%⁵, la IE empieza a disminuir. Este comportamiento también era el esperado ya que algunos autores han estudiado que el efecto de la urbanización en el largo plazo se ve afectada por las economías de escala (Sadorsky, 2013).

Gráfica 3. Estimación del comportamiento de la urbanización en el largo plazo



Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Elaboración propia.

⁵ La urbanización que hemos utilizado hace referencia a la población urbana, se refiere a las personas que viven en áreas urbanas según lo definen las oficinas nacionales de estadística. El indicador se calcula utilizando las estimaciones de población del Banco Mundial y las proporciones urbanas de las Perspectivas de Urbanización Mundial de las Naciones Unidas. Los porcentajes urbanos son el número de personas que residen en un área definida como "urbana" por cada 100 habitantes. Los calcula la División de Estadística del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Por lo tanto, se debe de tener especial cuidado al interpretar las cifras de la población urbana dado que los países difieren en la forma en que clasifican a la población como "urbana" o "rural" (World Bank Group).

6.4 DISCUSIÓN Y COMENTARIOS

En cuanto a los resultados esperados en la variable del (PIB_{pc}) la literatura nos dice que existe una correlación negativa entre la IE y el crecimiento económico (Mahmood y Ahmad, 2018). En lo referente a los (PE) la teoría energética menciona que el aumento de los precios provoca una reducción de la IE ya que los usuarios apuestan por productos más eficientes energéticamente (Á y Tu, 2007). La variable de (VAB_{IND}) ha sido estudiada en profundidad y se llega a la conclusión de que el aumento del peso de la industria sobre el PIB de un país provoca un aumento de la IE. Finalmente, con la (UR) se espera un efecto positivo dado que la mayoría de los autores así lo expresan. Sin embargo, con la (UR^2) esperamos un efecto negativo ya que, según lo analizado, si la urbanización aumenta a largo plazo se producen economías de escala que favorecen la reducción de la IE.

Tras el análisis de los resultados podemos darnos cuenta de que efectivamente el crecimiento económico es significativo y tiene un efecto negativo sobre la IE. Esto depende del nivel de desarrollo en que se encuentren los países. Al tratarse de países desarrollados los utilizados en la muestra, es probable que la IE disminuya con el crecimiento, sin embargo, si no fueran países desarrollados, posiblemente la IE aumentara con el crecimiento económico y se encontrarán en la primera fase de la curva. Estudios como el elaborado por (Bilgili et al., 2017) quienes analizan, precisamente, si se cumple la relación en forma de “U” invertida para diez países asiáticos durante el periodo 1990-2014. Emplean para ello el PIB per cápita (a precios constantes del año 2005), el PIB per cápita al cuadrado y la urbanización. Con su investigación demuestran que existe un efecto en forma de “U” invertida en algunos de los países objeto de estudio donde, al principio la IE aumenta con el crecimiento del PIB per cápita, pero cuando el PIB per cápita alcanza un punto determinado, la IE empieza a disminuir. Sin embargo, para otros países obtiene un efecto en forma de “U” en el que con el crecimiento económico la IE al principio disminuye y posteriormente, tras alcanzar el crecimiento económico un cierto umbral, la IE aumenta. Por lo tanto, podemos observar como los resultados cambian dependiendo de los países utilizados en la investigación y de la metodología empleada. Cabe mencionar que una futura línea de investigación sería la emplear de forma conjunta el efecto cuadrático del PIB per cápita y el de la urbanización.

En cuanto a la urbanización obtenemos que es significativa y el efecto que produce es positivo sobre la IE aunque cabe destacar que, en el largo plazo, el efecto es significativo y negativo, además, la intensidad con la que disminuye es menor. En algunos trabajos como el elaborado por Bilgili et al (2017) obtienen que la urbanización es significativa y presenta un efecto negativo tanto a corto plazo como a largo plazo, además, la intensidad con la que lo hace es mayor a la de nuestro estudio. Cabe destacar que este resultado no es así para los diez países de la muestra, ya que existen países para los que los resultados obtenidos son los mismos que en nuestra investigación. Para su estudio utilizan las pruebas de panel de Dumitrescu y Hurlin, panel de Granger y el análisis de cointegración a través de las estimaciones del grupo de media aumentada (AMG), por sus siglas en inglés. Por lo tanto, podemos decir que

la variable de la urbanización es relevante en cuanto a su relación con la IE, sin embargo, el efecto que produce no parece estar del todo claro.

Es por esta razón por la que parece interesante seguir investigando el comportamiento de la urbanización ya que todos los estudios van en la dirección de que será un variable a tener en cuenta si se quiere mejorar sostenibilidad de las ciudades. Todo esto en un contexto en el que los países pretenden disminuir su IE para ser más productivos energéticamente y en el que la presión sobre los recursos energéticos está a la orden del día. Por lo tanto, desde la política se debería apostar por procesos más innovadores donde el consumo de energía sea el más eficiente posible, consiguiendo con ello ahorros considerables de energía y, sobre todo, minorando los efectos negativos del cambio climático.

7. CONCLUSIONES

Si bien desde la teoría del desarrollo económico se ha estudiado la relación que existe entre el crecimiento económico, la urbanización y la industrialización, desde la teoría energética, se ha identificado una relación entre la IE, la urbanización y la industrialización. Sin embargo, a pesar de lo que dice la teoría, se sabe muy poco acerca del efecto que produce la urbanización en la IE, dado que los estudios que se han realizado sobre este acontecimiento son escasos. Identificar si existe esta relación y el efecto que produce es el objetivo fundamental de este trabajo, el cual, es un tema importante que se debe estudiar. La primera razón para hacerlo es que existen numerosas investigaciones donde se asegura que la urbanización seguirá aumentando en el planeta. La segunda radica en que la IE está muy relacionada con el cambio climático y su disminución ayudará a mitigar sus efectos negativos.

En este trabajo hemos identificado que la urbanización es una variable importante en la explicación de la evolución de la IE. Por otro lado, hemos descubierto que el efecto que produce la urbanización sobre la IE es positivo, es decir, a medida que aumenta la urbanización la IE se incrementa. Sin embargo, hemos realizado una predicción que nos muestra que a partir de una tasa de urbanización superior al 97,5% la IE empieza a disminuir, es decir, parece que existe un cierto nivel de urbanización a partir del cual la IE disminuye debido a las economías de escala que se producen dentro de la urbe. Este hecho es relevante al poner de manifiesto que la urbanización presenta aspectos positivos.

Finalmente, con la elaboración de este trabajo se ha pretendido rellenar en cierto modo el hueco existente en la literatura en lo referente a la urbanización. Por un lado, se ha intentado plasmar la importancia de la urbanización junto con las consecuencias que tiene tanto positivas como negativas, y, de esta manera, conseguir así que los gobernantes puedan tomar las medidas pertinentes que favorezcan un mayor crecimiento y bienestar de nuestra sociedad. Por otro lado, sería interesante que se realizaran posteriores investigaciones donde se analizaran cómo afecta el tamaño de las ciudades a la IE.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ã, L. H., & Tu, M. (2007). The impacts of energy prices on energy intensity : Evidence from China, *35*, 2978–2988. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.022>
- Agencia-Europea-de-Medio-Ambiente. (2017). *La energía y el cambio climático. Señales – Vivir en un clima cambiante* (Vol. 5).
- Agencia Internacional de Energía (IEA). (2015). Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas, 182. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2005.06.014>
- Ang, B. W. (1999). Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? *Energy Policy*, *27*(15), 943–946. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(99\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(99)00084-1)
- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? *Energy Policy*, *32*(9), 1131–1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Belloumi, M., & Alshehry, A. (2016). The Impact of Urbanization on Energy Intensity in Saudi Arabia. *Sustainability*, *8*(4), 375. <https://doi.org/10.3390/su8040375>
- Bhattacharyya, S. (2011). *Energy Economics. Concepts, Issues, Markets and Governance*.
- Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü., & Kuloğlu, A. (2017). The impact of urbanization on energy intensity: Panel data evidence considering cross-sectional dependence and heterogeneity. *Energy*, *133*, 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.121>
- Camioto, F. de C., Rebelatto, D. A. do N., & Rocha, R. T. (2016). Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados. *Gestão & Produção*, *23*(1), 192–203. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1567-13>
- Carpintero, Ó. (1999). Pautas de consumo, desmaterialización y nueva economía: entre la realidad y el deseo. *Cccb.Org*, (1991), 1–30. Retrieved from http://www.cccb.org/racs_gene/carpintero.pdf
- Castells-Quintana, D., & Royuela, V. (2014). Agglomeration, inequality and economic growth. *Annals of Regional Science*, *52*(2), 343–366. <https://doi.org/10.1007/s00168-014-0589-1>
- Dhakal, S. (2009). Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy Policy*, *37*(11), 4208–4219. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.020>
- Ekins, P. (1997). The Kuznets curve for the environment and economic growth. *Environment and Planning A*, *29*, 805–803. <https://doi.org/10.1068/a290805>
- Europea, U. (2013). Europa 2020 : la estrategia europea de crecimiento, 12. <https://doi.org/10.2775/39991>
- Farajzadeh, Z., & Nematollahi, M. A. (2018). Energy intensity and its components in Iran: Determinants and trends. *Energy Economics*, *73*, 161–177. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.021>
- Feng, T., Sun, L., & Zhang, Y. (2009). The relationship between energy consumption structure, economic structure and energy intensity in China. *Energy Policy*, *37*(12), 5475–5483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.008>
- Filippini, M., & Hunt, L. C. (2015). Measurement of energy efficiency based on economic foundations. *Energy Economics*, *52*, S5–S16. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.023>
- Giampietro, M., Mayumi, K., & Ramos-martin, J. (2008). Departament d ' Economia Aplicada and

Theory.

- Hancher, L., & Winters, B. M. (2017). The Eu Winter Package: Briefing Paper, (February).
- Hasanbeigi, A., de la Rue du Can, S., & Sathaye, J. (2012). Analysis and decomposition of the energy intensity of California industries. *Energy Policy*, 46, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.056>
- Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2011). CO2 emissions, GDP and energy intensity: A multivariate cointegration and causality analysis for Greece, 1977-2007. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.008>
- International Energy Agency. (2016). Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos Estadísticos, 1–211. Retrieved from www.iea.org/books%0Ahttps://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IndicadoresdeEficienciaEnergética_FundamentosEstadísticos.pdf
- Kowal, J., & Fortier, M. (1999). Copyright © 1999. All rights reserved. *The Journal of Social Psychology*, 139(3), 355–368. <https://doi.org/10.1086/250095>
- Mahmood, T., & Ahmad, E. (2018). The relationship of energy intensity with economic growth: Evidence for European economies. *Energy Strategy Reviews*, 20, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.02.002>
- Marrero, G. A., & Ramos-real, F. J. (2005). La intensidad energética en los sectores productivos en la UE-15 durante 1991 y 2005 : ¿ Es el caso español diferente ? Colección Estudios Económicos, (January).
- Marrero, G. A., & Ramos-Real, F. J. (2013). Activity sectors and energy intensity: Decomposition analysis and policy implications for European countries (1991-2005). *Energies*, 6(5), 2521–2540. <https://doi.org/10.3390/en6052521>
- Miketa, A. (2001). Analysis of energy intensity developments in manufacturing sectors in industrialized and developing countries. *Energy Policy*, 29(10), 769–775. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00010-6)
- Nielsen, H., Warde, P., & Kander, A. (2018). East versus West: Energy intensity in coal-rich Europe, 1800–2000. *Energy Policy*, 122(January), 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.006>
- Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea. (2012). Directiva 2012/27/UE. *Diario Oficial de La Unión Europea*, L 315/1.
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Velázquez, D. (2013). Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, 6(2), 239–254. <https://doi.org/10.1007/s12053-012-9180-8>
- PNUD. (2016). Estrategia de urbanización sostenible.
- Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. *Latin American Energy Organization*, 25.
- Press, C. (2019). Regional Inequality and the Process of National Development : A Description of the Patterns Author (s): Jeffrey G . Williamson Source : Economic Development and Cultural Change , Vol . 13 , No . 4 , Part 2 (Jul . , 1965), pp . Published by : The Univer, 13(4), 1–84.
- Quah, D. T. (1996). Empirics for economic growth and convergence. *European Economic*

- Review*, 40(6), 1353–1375. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(95\)00051-8](https://doi.org/10.1016/0014-2921(95)00051-8)
- Reddy, B. S., & Ray, B. K. (2011). Understanding industrial energy use : Physical energy intensity changes in Indian manufacturing sector. *Energy Policy*, 39(11), 7234–7243. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.044>
- Rossi, S. (2002). Investigación Y Ciencia, 40–41. Retrieved from <http://www.icm.csic.es/bio/ftp/2002-05.pdf>
- Sadorsky, P. (2013). Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries? *Energy Economics*, 37, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.01.009>
- Shahbaz, M., Solarin, S. A., Sbia, R., & Bibi, S. (2015). Does energy intensity contribute to CO2 emissions? A trivariate analysis in selected African countries. *Ecological Indicators*, 50, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.007>
- Tirole, A. D. J. (2014). *Énergie*.
- Wang, C. (2013). Changing energy intensity of economies in the world and its decomposition. *Energy Economics*, 40, 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.08.014>
- Yan, H. (2015). Provincial energy intensity in China: The role of urbanization. *Energy Policy*, 86, 635–650. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.010>
- Yolanda Vieira de Abreu, Marco Aurélio González de Oliveira, S. M.-G. G. (2010). *Energía Sociedad y Medio Ambiente*. Brazil.
- Zhang, Y. (2011). Service industry, urbanization and economic growth: Based on the empirical analysis of China during 1979-2008. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, (71072159), 1–3. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2011.5748943>