



## Trabajo Fin de Grado

### **Análisis de convergencia sobre el uso de energía en Europa para el período 1990-2017.**

Convergence analysis of energy use in Europe for the period  
1990-2017.

Autor:

Josué Cintora Sánchez.

Directoras:

Ana Serrano González.

Rosa Duarte Pac.

FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA.

Universidad de Zaragoza.

2018-2019

## **Resumen.**

El objetivo principal de este trabajo es analizar cómo evoluciona el consumo de combustibles fósiles, gas, petróleo, electricidad y biocombustibles de una muestra de 25 países europeos durante el periodo de tiempo que abarca desde el año 1990 hasta el año 2017, observando asimismo los efectos que tiene la crisis económica originada en 2008 sobre el consumo de los estos.

Para ello se va a realizar un análisis del término beta convergencia y otro análisis del término sigma convergencia, los cuales aportarán evidencia empírica de gran importancia para cumplir con el objetivo principal del trabajo apoyándolo sobre una rica base teórica de ambos términos

Finalmente, se mostrarán las conclusiones obtenidas y se determinará si los países pertenecientes a la muestra convergen o divergen sobre el uso de las energías objeto de estudio durante el periodo 1990-2017.

**Palabras Clave:** Sigma Convergencia, Beta Convergencia, Divergencia, Energías Renovables, Energías No Renovables y Evolución.

## **Abstract.**

The main objective of this work is to analyze how the consumption of fossil fuels, gas, oil, electricity and biofuels evolves from a sample of 25 European countries during the period from 1990 to 2017 and to observe the effects that has the economic crisis originated in 2008 on the consumption of these.

For this, an analysis of the term beta convergence and another analysis of the term sigma convergence will be carried out, which will provide data of great importance to fulfill the main objective of the work supporting it on a rich theoretical basis of both terms

Finally, the conclusions obtained will be shown and it will be determined if the countries belonging to the sample converge or diverge on the use of the energies under study during the period 1990-2017.

**Keywords:** Sigma Convergence, Beta Convergence, Divergence, Renewable Energy, Nonrenewable Energy and Development.

# Índice

1. Introducción y justificación.....	4
2. Contextualización.....	6
3. Fundamentación teórica. ....	12
3.1 La energía. ....	12
3.1.1 Energías no renovables.....	13
3.1.2 Energías renovables.....	16
3.2 Historia de los análisis de convergencia. ....	19
3.3 Apuntes teóricos sobre convergencia y divergencia.....	22
3.3.1 Beta Convergencia. ....	24
3.3.2 Sigma Convergencia. ....	26
4. Análisis Sigma Convergencia. ....	27
4.1 Metodología. ....	27
4.2 Análisis sigma convergencia sobre el uso de las energías en los países europeos durante el periodo de tiempo 1990-2017. ....	28
4.3 Comparación de los resultados obtenidos en el análisis sigma convergencia. 32	
5. Análisis Beta Convergencia .....	33
6. Conclusiones .....	40
7. Referencias bibliográficas.....	42

## **1. Introducción y justificación.**

La revolución industrial iniciada a mediados del siglo XVIII supuso un gran aumento en el uso de combustibles fósiles debido a la fuerte mecanización del trabajo y a la aparición de la máquina de vapor y de los barcos y ferrocarriles a vapor. Este gran incremento en el uso de combustibles fósiles supuso el comienzo de la escasez de estos, por lo que, a mediados del siglo XX, más concretamente en los años 70, comenzó la preocupación por su escasez, ocasionando de tal forma la enfatización en el concepto de energías renovables. Dichas energías son consideradas como “energías limpias”, es decir, energías no contaminantes, procedentes de fenómenos naturales e inagotables en su uso, las cuales son el sustitutivo perfecto de los combustibles fósiles. Sin embargo, el excesivo uso de combustibles fósiles no solo ha ocasionado su escasez, sino que también ha contribuido al desconocimiento, hasta llegar a su posible desaparición, de otras formas de energía como son las energías renovables siendo a partir de esta fecha, en la cual se comienza a acentuar el estudio sobre estos tipos de energía (Energialis, 2019).

Hoy en día, existen numerosos avances tecnológicos en el sector energético lo cual está ocasionando una transición global en el uso de los diferentes tipos de energía, estableciéndose dicha transición global en el cambio de unos recursos contaminantes, costosos económicamente y efímeros, a unos recursos limpios, respetuosos con el medioambiente y relativamente baratos en comparación a sus precedentes.

A través de la convergencia, entendida como punto de unión entre diversas partes en torno a un tema en concreto y, extrapolando dicho concepto al uso de la energía, podemos establecer la convergencia o divergencia de los países europeos en el uso de los diferentes tipos de energía, objetivo prioritario y esencial del presente trabajo.

La razón fundamental de por qué he escogido esta rama de estudio, es por mi afición por las asignaturas de ciencias puras, destacando las matemáticas, la estadística y la econometría y la elección de este tema en concreto, se debe a que durante mi último año de carrera he realizado tanto mis prácticas curriculares como mis prácticas extracurriculares en el departamento comercial de una empresa eléctrica, la cual comercializa tanto gas y electricidad, como genera y distribuye energías renovables.

A continuación, se va a presentar el estudio comenzando por la contextualización, donde se realizará una clasificación de países que servirá para el posterior estudio de convergencia, seguida por la fundamentación teórica donde se hará hincapié en las diferentes formas de energía explicando sus usos, obtención y características principales. En la fundamentación teórica correspondiente, también se hará un recorrido a través de la historia de los análisis de convergencia, explicando cómo han variado a lo largo de los años desde la perspectiva de diferentes autores, ligado a la explicación y definición de los términos de beta convergencia y sigma convergencia, sobre los que se va a realizar el trabajo.

Una vez concluido el marco teórico, se pasará al análisis cuantitativo, el cual se divide en dos análisis. Primero, se realizará el análisis sigma convergencia, el cual nos permitirá determinar la existencia o la ausencia de sigma convergencia a través del estudio de la desviación estándar entre los países que forman la muestra en el uso de combustibles fósiles, petróleo, gas, electricidad y biocombustibles. Para ello, se dividirá el periodo que comprende desde el año 1990 hasta el año 2017 en tres subperiodos, tratando de observar de forma más detallada cómo han evolucionado los países en el uso de esta energía, así como los efectos que ha tenido la crisis económica originada en el año 2008 sobre el consumo de estos.

A continuación, se realizará el análisis beta convergencia, en el cual se desarrollarán cuatro regresiones econométricas que permitirán graficar los datos obtenidos, con el objetivo de concluir la existencia o ausencia de beta convergencia en el uso de petróleo, gas, electricidad y biocombustibles entre los países de la muestra durante el periodo objeto de estudio.

Finalmente, se realizará un apartado que alberga las conclusiones extraídas de la totalidad del trabajo, donde se relacionarán los resultados obtenidos en ambos análisis de convergencia.

## 2. Contextualización.

El presente trabajo va a basarse fundamentalmente en realizar un estudio sobre la convergencia y la divergencia que experimentan los países a lo largo del tiempo en el uso de la energía, clasificando dicha convergencia o divergencia en torno a los diferentes tipos de energía más relevantes y usados actualmente.

Dicho estudio nos servirá para extraer conclusiones sobre cómo evolucionan los países más desfavorecidos, en comparación a las grandes potencias europeas, e incluso para obtener conclusiones sobre cómo los países más atrasados tecnológicamente se alejan o se acercan sobre los más punteros.

Para hacer más fácil la extrapolación de dichos resultados, se van a clasificar los países objeto de estudio en países más desarrollados y menos desarrollados. Dicha clasificación tiene un cierto matiz polémico, dado que existen numerosas clasificaciones de diversos autores en base a diversos criterios. Razón por la cual, la ya mencionada clasificación, se va a efectuar en el presente trabajo de la forma más objetiva posible, fundamentándola en autores como Sánchez y Prada (2014).

Asimismo, se realizará una comparación entre diferentes índices, tales como: el índice de renta per cápita, el índice de inversión en I+D, el índice de desarrollo económico para un determinado periodo, etc., los cuales, permiten obtener una visión más objetiva para poder clasificar la muestra de países de la forma más coherente y técnica posible.

Según Sánchez y Prada (2014) en su artículo *Del concepto de crecimiento económico al de desarrollo de las naciones: una aplicación a la Unión Europea*, para una muestra de países de elevado nivel de riqueza, como son los países europeos objeto de estudio del presente trabajo, la forma más coherente de agruparlos en países más desarrollados y países menos desarrollados, es analizando la relación existente entre su posición en términos de riqueza material y la relación ocasionada por distintas estimaciones procedentes de índices de desarrollo social (IDS). Siendo el objetivo prioritario de ambos autores, la identificación de los países que transforman de forma más eficiente o de forma menos eficiente el crecimiento económico e incluso concluir que variables relativas al desarrollo tienen mayor incidencia en los cambios de posición de dichas clasificaciones.

Sánchez y Prada (2014) en su estudio, también hacen énfasis en la idea de que, cuantificar el crecimiento económico en función únicamente del ingreso por habitante, no es la forma más adecuada para medir el grado de desarrollo de un país, concluyendo que, bajo su punto de vista, la forma que más se ajusta a la realidad, consiste en realizar un análisis explicativo, fundamentado en indicadores de síntesis del desarrollo social. Dicha afirmación la documentan mediante ideas de otros autores como Kuznets (1934 citado en Sánchez y Prada, 2014) quien afirma que es de gran complicación determinar el grado de desarrollo de un país en base únicamente a su producto nacional bruto, o como el mismo expresidente de los EEUU, Kennedy (2009 citado en Sánchez y Prada, 2014), quien afirmó que “el producto nacional bruto no tiene sitio para la salud de nuestros hijos, la calidad de su educación o la alegría de sus juegos... lo mide todo menos lo que hace que la vida merezca ser vivida”.

En cuanto a los indicadores utilizados para realizar la clasificación, el primero que es objeto de estudio, es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el cual se obtiene a través de una fórmula basada en realizar la media geométrica del Ingreso Nacional Bruto per cápita (INBpc), lo cual representa el nivel de riqueza de cada país, de la escolarización y de la esperanza de vida, variables muy representativas del nivel de calidad de vida de un país dado que representan la vida larga y saludable de los ciudadanos de un país y el nivel de educación y conocimientos de los mismos.

Sin embargo, también es de gran importancia destacar la necesidad de incluir en dicho índice la importancia que le da el país a la sostenibilidad y la calidad del medioambiente, variable que los autores introducen mediante el concepto de huella ecológica y que representa el compromiso de cada país con el medioambiente, es decir, el grado de sostenibilidad del medioambiente para generaciones futuras. Esta variable cobra gran protagonismo en el presente trabajo debido a que afecta principalmente a si el país en cuestión evita el agotamiento de recursos y la contaminación a través del uso de energías limpias e inagotables.

La metodología que se va a utilizar para establecer la clasificación de los países de la Unión Europea en países más desarrollados y países menos desarrollados utilizando los datos propuestos en el trabajo de Sánchez y Prada (2004) va a consistir en primer lugar, en observar la posición que ocupa cada país en cuanto al nivel de ingresos, al Índice de Desarrollo Humano (IDH) y al Índice de Desarrollo Humano sin incluir la variable de crecimiento económico (IDHni).

Atendiendo a la clasificación de los países de la Unión Europea en cuanto al nivel de ingresos, nos encontramos con el siguiente ranking:

**Tabla 2.1.** Ranking de países en función del nivel de ingresos.

PAÍS	INGRESOS	POSICIÓN
LUXEMBURGO	48.285	1
PAISES BAJOS	37.282	2
AUSTRIA	36.438	3
SUECIA	36.143	4
ALEMANIA	35.431	5
DINAMARCA	33.518	6
BELGICA	33.429	7
FINLANDIA	32.510	8
REINO UNIDO	32.538	9
FRANCIA	30.277	10
IRLANDA	28.671	11
ITALIA	26.158	12
ESPAÑA	25.947	13
ESLOVENIA	23.999	14
REPUBLICA CHECA	22.067	15
GRECIA	20.511	16
PORTUGAL	19.907	17
ESLOVAQUIA	19.696	18
POLONIA	17.776	19
ESTONIA	17.402	20
LITUANIA	16.858	21
HUNGRIA	16.088	22
LETONIA	14.724	23
BULGARIA	11.474	24
RUMANIA	11.011	25

Fuente: Elaboración propia.

Dicha tabla nos permite observar una clara diferencia en cuanto a ingresos por país entre los países del este de Europa y los países nórdicos. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, clasificar los países según su desarrollo atendiendo únicamente al nivel de ingresos sería un craso error por lo que a continuación, se presenta una tabla que clasifica a los países en función del IDH y del IDHni, índices que nos permitirán comprobar si los países con mayores niveles de ingresos también poseen también los niveles de desarrollo social más elevados.

**Tabla 2.2** Rankings de países en función del IDH y el IDHni.

PAÍS	IDH	POSICIÓN	PAÍS	IDHni	POSICIÓN
PAISES BAJOS	0.921	1	IRLANDA	0.960	1
ALEMANIA	0.920	2	ALEMANIA	0.948	2
IRLANDA	0.916	3	PAISES BAJOS	0.945	3
SUECIA	0.916	4	SUECIA	0.940	4
DINAMARCA	0.901	5	ESLOVENIA	0.936	5
BÉLGICA	0.897	6	DINAMARCA	0.924	6
AUSTRIA	0.895	7	FRANCIA	0.919	7
FRANCIA	0.893	8	ESPAÑA	0.919	8
FINLANDIA	0.892	9	BÉLGICA	0.917	9
ESLOVENIA	0.892	10	R. CHECA	0.913	10
ESPAÑA	0.885	11	FINLANDIA	0.912	11
ITALIA	0.881	12	ITALIA	0.911	12
LUXEMBURGO	0.875	13	AUSTRIA	0.908	13
REINO UNIDO	0.875	14	GRECIA	0.899	14
R. CHECA	0.873	15	ESTONIA	0.892	15
GRECIA	0.860	16	REINO UNIDO	0.886	16
ESTONIA	0.846	17	HUNGRÍA	0.874	17
ESLOVAQUIA	0.840	18	ESLOVAQUIA	0.872	18
HUNGRÍA	0.831	19	LUXEMBURGO	0.858	19
POLONIA	0.821	20	LETONIA	0.856	20
LITUANIA	0.818	21	POLONIA	0.851	21
PORTUGAL	0.816	22	LITUANIA	0.850	22
LETONIA	0.814	23	RUMANÍA	0.836	23
RUMANÍA	0.786	24	PORTUGAL	0.835	24
BULGARIA	0.782	25	BULGARIA	0.826	25

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la tabla anterior, es de gran importancia destacar el retroceso que sufren determinados países con ingresos más altos dado que estos sufren importantes caídas en el ranking, como es el caso de Austria, Luxemburgo o Reino Unido, sin embargo, dichas caídas no son lo suficientemente pronunciadas para poder considerar que dichos países pasan de ser de los países más desarrollados de la Unión Europea en función del nivel de ingresos a los países menos desarrollados de la Unión Europea en materia de desarrollo social. En cambio, el caso de Luxemburgo es un caso excepcional dado que pese a obtener la primera posición en el ranking de países europeos con mayores niveles de ingresos, esta posición no le permite situarse entre los países más desarrollados de la Unión Europea debido a sus nefastas posiciones en los rankings de desarrollo humano.

A través del estudio de las dos tablas anteriores a continuación se va a proceder a la agrupación de los países de la Unión Europea en dos grupos: más desarrollados y menos desarrollados.

Para realizar dicha agrupación, se va a realizar la media geométrica de las posiciones obtenidas por cada país en cada uno de los rankings, las cuales se muestran en el Anexo I, otorgando de esta forma la misma importancia a los 3 índices que han sido objeto de estudio para poder clasificar los países de la forma más coherente posible. Una vez calculada la posición media de cada país, se dividirá a la muestra de países en 12 países desarrollados y en 13 países menos desarrollados, atendiendo obviamente a la ponderación obtenida por cada uno.

Por ejemplo, en el caso de España, su posición se calculará de la siguiente forma,  
**POSICIÓN MEDIA DE ESPAÑA =  $(11 + 8 + 13) / 3$**

Siendo,

El número 11 el correspondiente a su 11<sup>a</sup> posición en el ranking de IDH.

El número 8 el correspondiente a su 8<sup>a</sup> posición en el ranking de IDHni.

El número 13 el correspondiente a su 13<sup>a</sup> posición en el ranking de ingresos.

Aplicando dicha metodología para todos los países, obtenemos como resultado la siguiente clasificación, la cual utilizaremos como base para el posterior estudio numérico.

**Tabla 2.3.** Ranking de países obtenido a través del procedimiento anterior.

PAÍS	POSICIÓN
PAISES BAJOS	1
ALEMANIA	2
SUECIA	3
IRLANDA	4
DINAMARCA	5
BÉLGICA	6
AUSTRIA	7
FRANCIA	8
FINLANDIA	9
ESLOVENIA	10
ESPAÑA	11
LUXEMBURGO	12
ITALIA	13
REINO UNIDO	14
R. CHECA	15
GRECIA	16
ESTONIA	17
ESLOVAQUIA	18
HUNGRIA	19
POLONIA	20
PORTUGAL	21
LITUANIA	22
LETONIA	23
RUMANIA	24
BULGARIA	25

PAÍSES MÁS  
DESARROLLADOS

PAÍSES MENOS  
DESARROLLADOS

Fuente: Elaboración propia.

### **3. Fundamentación teórica.**

#### **3.1 La energía.**

El primer científico en definir el concepto de energía fue Aristóteles (384-322 a.C), quien utilizó el término “energeia” para referirse a la actividad. En términos griegos, “en” significa situación, mientras que “ergon” significa trabajo (Colino, 2008).

Siguiendo las ideas del Boletín Informativo Nuclenor (2011), la energía es toda capacidad que posee un cuerpo para llevar a cabo un trabajo, teniendo en cuenta su constitución, su posición y su movimiento. Por tanto, la energía es una magnitud homogénea con el trabajo, ya que se mide en las mismas unidades.

Asimismo, la energía puede manifestarse en diferentes formas y, de este modo, adquiere diversos términos entre los que encontramos: energía térmica, mecánica, eléctrica, química, nuclear, luminosa, etc. El principio fundamental de la energía es que esta “no se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Dicho principio lo debemos aplicar cuando nos preguntamos sobre el origen de la energía, dado que, si se quiere obtener energía, esta se debe de obtener a través de la transformación de un cuerpo con energía almacenada, lo que se conoce con el nombre de “fuente de energía”.

Cabe destacar que, los cuatro tipos de fuerzas fundamentales de la naturaleza como son, la gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil, producen interacciones e intercambios entre sí. Dichas interacciones tienen como consecuencia, la producción de energía.

El sol, es la principal fuente de energía de la cual obtenemos energía en la tierra, siendo además el causante de multitud de fenómenos como la evaporación de las aguas superficiales, la formación de las nubes, los vientos, las lluvias, los saltos de agua y la fotosíntesis en el mundo natural. Bon y Ramos (2007) en su artículo *El Sol, una fuente de energía limpia y rentable*, señalan:

La energía solar, se ha convertido en un negocio limpio y rentable que beneficia a propietarios, medio ambiente y sociedad. Además, posibilita la incorporación de los ingenieros agrónomos a un sector laboral para el que son competentes. España, debido a su situación geográfica y climatológica, es el primer país europeo en potencial solar, lo que la convierte en uno de los más apropiados para la explotación de este tipo de energía (Bon y Ramos, 2007: 9).

### **3.1.1 Energías no renovables.**

Las energías no renovables son aquellas fuentes de energía limitadas, las cuales, una vez que son consumidas en su totalidad, no pueden ser sustituidas por otras, dado que no es posible su producción o extracción.

Actualmente, el petróleo, el carbón y el gas natural son las fuentes de energía no renovable que constituyen un 88% de energía consumida en el planeta, con el fin de satisfacer las necesidades de una sociedad que apuesta por una buena calidad de vida (Reyes, 1999).

En su artículo, *Combustibles fósiles y contaminación*, Reyes (1999) ofrece información detallando aspectos de gran importancia sobre las reservas estimadas, de forma general, de carbón, petróleo y gas natural, para así tomar conciencia del estado de estas y su influencia en el entorno en el que vivimos.

#### **3.1.1.1 Petróleo.**

El petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos producidos en el interior de la Tierra mediante la transformación de materia orgánica acumulada durante millones de años en trampas geológicas naturales, de las cuales se extrae a través de la perforación de los pozos. Se trata de un recurso no renovable de gran valor, puesto que actualmente, constituye la principal fuente de energía y materia prima para la producción de una gran variedad de derivados como es el caso del plástico. El petróleo es un aceite mineral de color oscuro y olor fuerte. Casi en su totalidad, está compuesto por carbono e hidrógeno, lo que se conoce por “hidrocarburos”. El petróleo, es un combustible base para numerosas industrias, como la automovilística, los aviones, los barcos y, en concreto, toda la industria petroquímica (Reyes, 1999).

Asimismo, es importante destacar que la demanda de petróleo crece cada año sobre un 2%, por lo que, se puede estimar, en términos globales, que hacia el año 2020, la demanda mundial de petróleo habrá aumentado un 60%. La primera destilación de petróleo se produjo en el siglo IX, obteniéndose queroseno y otros destilados, los cuales se usaban para fines médicos y militares. Actualmente el principal derivado del petróleo es la gasolina, debido a la aparición de motores de combustión interna (Reyes, 1999).

Finalmente, hasta aquellos más convencidos de la abundancia de petróleo, advierte de la necesidad de manejar este recurso desde otra perspectiva, pues nos encontramos con una economía devoradora de dicha energía que no beneficia al planeta (Reyes, 1999).

### **3.1.1.2 Carbón.**

El carbón es un combustible fósil, que se origina a través de la descomposición de vegetales terrestres acumulados en zonas pantanosas o marinas a poca profundidad. Dichos restos vegetales quedan cubiertos de agua en una cuenca comenzando una paulatina transformación, la cual da lugar a una roca sedimentaria de color negro muy rica en carbono. El carbón es el más abundante y contaminante de todos los combustibles fósiles. A comienzos del siglo XVIII, el carbón se convirtió en un factor clave y necesario para el desarrollo industrial. Dejando de lado su uso principal para la preparación de alimentos, el carbón ha movido máquinas de vapor y ha alimentado a numerosos sectores manufactureros (Reyes, 1999).

El 25% de la energía primaria consumida en el mundo es suministrada por el carbón. Un estudio realizado en 2007 por British Petroleum estimó que, en 150 años, las reservas de carbón desaparecerían completamente a causa del excesivo uso de carbón que se realiza actualmente en la sociedad. Asimismo, Reyes (1999) afirma que, a pesar de que no existe un motivo principal por el suministro de esta fuente a corto plazo, resultan preocupantes los índices de contaminación que se asocian a él, ya que, la mitad de las emisiones de dióxido de azufre y el 30% de óxidos de nitrógenos, son atribuidos al carbón.

### **3.1.1.3 Gas natural.**

Otra de las energías no renovables que tienen gran importancia en la actualidad es el gas natural. Se trata de un hidrocarburo compuesto por la mezcla de gases ligeros de origen natural, principalmente metano y en menor proporción: etano, propano, butano y gasolina natural. Es el más limpio de los combustibles fósiles y, además, sus reservas pueden superar al carbón y al petróleo.

El gas natural se genera cuando, diferentes capas formadas por plantas en descomposición y materia animal se exponen durante millones de años a calor y presión intensa, bajo la superficie de la tierra. Una vez formado el gas natural, este se extrae de yacimientos independientes o junto a yacimientos de petróleo o de carbón. El gas natural existe a proporción semejante en los países industrializados y en los países en vías de desarrollo. Finalmente, cabe destacar que, a pesar de las grandes reservas, los yacimientos se encuentran lejos de la población que demanda dicha energía por lo que su transporte, puede resultar en ocasiones costoso (Reyes, 1999).

### **3.1.1.4 Energía nuclear.**

La energía nuclear surge a través de los procesos de fisión o fusión de átomos, en los cuales se liberan enormes cantidades de energía usada para la producción de electricidad. Los procesos de fisión o fusión de los átomos se realizan utilizando el isótopo 235 del uranio llevándose a cabo en los reactores de las centrales nucleares.

En su libro, *Una década de análisis de las tecnologías energéticas*, Sánchez, Dopazo, López, Fernández y Pérez (2013), destacan que, la energía nuclear lleva ya más de 50 años. La primera central nuclear en entrar en funcionamiento fue en 1957. La energía nuclear proporciona una gran cantidad de energía por unidad de masa, casi 100 millones de veces más de energía por fisión nuclear que por combustión.

Asimismo, Sánchez et al (2013), destacan que la energía nuclear presenta una serie de singularidades respecto a las otras fuentes energéticas, ya que, las reacciones de fisión nuclear crean productos radiactivos, lo que obliga a extremar las medidas de seguridad. Pese a ser una energía no renovable, las reservas de uranio por el momento no corren peligro de extinción, ya que, con los supuestos avances tecnológicos que se producirán a largo plazo, se estima que la duración de las reservas de uranio sea de unos 2550 años.

### 3.1.2 Energías renovables.

En su artículo *Las energías renovables*, Alonso (2006) explica que, después de las crisis internacionales del petróleo, las cuales tuvieron lugar a finales de 1973 y 1974, además del surgimiento de una preocupación por el medioambiente, se comenzaron a plantear otras posibles formas de obtención de la energía, con el objetivo de reducir problemas ambientales derivados del uso de los combustibles tradicionales. De este modo surgieron las energías renovables.

Las energías renovables o energías alternativas son aquellas tecnologías que aprovechan de forma directa los recursos naturales como el sol, el aire y el agua, bien de forma directa o indirecta, provocando en mayor o menor medida un impacto ambiental beneficioso por la no emisión a la atmósfera de grandes cantidades de gases contaminantes que se producen en la combustión de combustibles fósiles. (Alonso, 2006, pp. 25)

El uso de las energías renovables por parte del ser humano se remonta a tiempos remotos debido a que, tanto la navegación, como los molinos de agua o viento, son ejemplos de ello.

Sin embargo, hasta 1970 este tipo de energía no se consideraba como un sustitutivo de las energías tradicionales o no renovables, pero en esta década fue cuando la humanidad se dio cuenta de los múltiples beneficios tanto económicos como medioambientales que tenían las energías renovables, por lo que se comenzaron a denominar energías alternativas (Alonso, 2006).

A partir de la documentación teórica realizada, se presenta una tabla a modo de síntesis con ventajas e inconvenientes que estas provocan en nuestro planeta.

**Tabla 3.1.1** Ventajas e inconvenientes de las energías renovables.

<b>Ventajas:</b>	<b>Inconvenientes:</b>
Las energías renovables son respetuosas con el medio ambiente, ya que la mayoría de ellas no produce emisiones de gases contaminantes.	Algunos tipos de estas energías causan efectos negativos sobre el ecosistema. Por ejemplo, la energía geotérmica arrastra hacia la superficie sales y minerales tóxicos.
Las energías renovables son ilimitadas, debido a que se obtienen de recursos inagotables de la naturaleza.	La obtención de esta energía es irregular, ya que, al resultar necesario depender de elementos de la naturaleza, cuando no se dan las condiciones óptimas, se deja de obtener la energía deseada.
Las energías renovables son más seguras para nuestra salud.	Diversidad geográfica: no todos los lugares del planeta disponen de los mismos recursos naturales, por lo que es imposible obtener las mismas cantidades de los diversos tipos de energía.
Aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos.	Período de amortización económica elevado para aplicaciones particulares.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cabe destacar que, las energías renovables, se pueden agrupar en seis grandes grupos: Hidráulica, Biomasa, Eólica, Solar, Geotérmica y Mareomotriz. Alonso (2006) ofrece una breve explicación de cada una de ellas.

### 3.1.2.1 Energía eólica.

Alonso (2006) establece que la energía eólica es una energía renovable cuya fuente de energía es la energía cinética procedente del viento. Su obtención se realiza a través de turbinas eólicas que se encargan de transformar la energía cinética procedente del viento, en energía eléctrica a través de sus aspas. Las instalaciones pueden ser aisladas o conectadas en red: en forma de parque eólico.

Este tipo de energía se caracteriza por ser una energía limpia y con un costo de producción muy bajo, razón por la cual resulta de gran interés su desarrollo y razón que ocasiona el enorme crecimiento de los parques eólicos en los últimos 20 años.

### **3.1.2.2 Energía mareomotriz.**

En su artículo *Las energías renovables*, Alonso (2006) establece que el uso de la energía cinética de las olas y su posterior transformación en energía útil, es decir, la energía mareomotriz se caracteriza porque su principal fuente de energía es el movimiento de las mareas, generando energía eléctrica a partir de las subidas y las bajadas de mareas mediante un alternador. Esta energía renovable es muy reciente, por lo que aún se encuentra en proceso de mejora no siendo todavía una energía renovable demasiado rentable.

### **3.1.2.3 Energía geotérmica.**

En este caso, Alonso (2006) establece que la energía se obtiene a partir del calor natural que emana del interior de la tierra pudiendo ser procedente o bien de roca caliente o bien de reservorios de conducción. Su aprovechamiento se produce a través de la temperatura del agua del interior de la tierra. No tiene demasiada importancia, salvo en algunas excepciones en zonas de gran potencial.

### **3.1.2.4 Energía hidráulica.**

La energía hidráulica es la energía que se produce en los cursos fluviales a consecuencia de la transformación de la energía potencial de agua en energía cinética, según Alonso (2006). La ventaja más importante de esta energía renovable es su alto rendimiento energético, por ser el agua un recurso prácticamente inagotable. Sin embargo, el aprovechamiento de este tipo de energía ocasiona problemas para el medioambiente dado que la construcción de presas supone alteraciones en los ecosistemas y destrucción de la naturaleza.

### **3.1.2.5 Biocombustibles.**

En su artículo *Biocombustibles*, Valls (2005) define estos, como una gama de combustibles fabricados a partir de materia orgánica. En ellos distingue dos tipos: los biocombustibles obtenidos por transformación de materias vegetales cultivadas a propósito y, por otra parte, los biocombustibles extraídos de la descomposición y tratamiento de materiales residuales, como la basura.

Finalmente, en el Anexo II se presenta un gráfico en el que se observa el consumo de energías renovables en la UE durante el año 2002 a partir de un diagrama de sector.

## **3.2 Historia de los análisis de convergencia.**

Según Bastidas (1996), el crecimiento económico generalmente es observado desde la perspectiva de un incremento en el PIB real, sin embargo, desde que se comenzó siempre se ha considerado una disciplina inestable debido a sus constantes cambios tanto en su ejecución como en su interpretación.

Entre los años cincuenta y sesenta, se encuentran los modelos de mayor importancia de óptica neoclásica, por lo que los estudios sobre convergencia comienzan a cobrar especial importancia en torno al año 1956, año en el cual Solow (1956) y Swan (1956) desarrollan los denominados modelos económicos neoclásicos, los cuales están sustentados sobre la función de producción neoclásica estándar. Dicha función se caracteriza por establecer una relación de igualdad entre el producto total (Q) y los factores productivos capital (K) y trabajo (L).

Solow (1956) y Swan (1956), establecen que en dicha función es de gran importancia mencionar tanto la existencia de rendimientos constantes a escala y rendimientos marginales decrecientes respecto al proceso de acumulación de capital como la existencia de una variable exógena como podría ser el desarrollo tecnológico, la cual puede inferir de forma muy notoria en los resultados de la ya mencionada función. En cuanto a los rendimientos marginales decrecientes, Solow (1956) y Swan (1956) consideran que, en un horizonte temporal de largo plazo, dicho factor conduce hacia un punto de unión o estado estacionario común, en el cual, se produciría que los países más pobres en términos económicos crecen más rápido que los países más ricos, surgiendo de tal forma el proceso de convergencia.

En cambio, entre los años setenta y ochenta Batidas (1996) establece que no se encuentran estudios en materia de dicha disciplina, dado que se entró en conflicto con la forma en la que se trabajaba hasta entonces, situación ocasionada porque se consideraba que los trabajos ejecutados entre los años cincuenta y sesenta tenían un marcado carácter técnico mientras que carecían de contraste empírico.

Entre los años ochenta y noventa, según Bastidas (1996) cabe destacar los trabajos basados en modelos de crecimiento endógeno, los cuales sirvieron de base para entrar en conflicto con la forma de estudio seguida hasta el momento y que fueron desarrollados por Romer (1986), Grossman y Helpman (1991).

En términos teóricos, se considera que los estándares de vida de la población, su calidad y su valoración, están sustentados por el crecimiento económico, el cual se ocupa de su potenciación e incremento, dando lugar a la conclusión de que unos altos niveles de ingreso otorgan una mayor calidad de vida a la población; siendo este el principal detonante para que entre estos años los economistas comenzaran a incluir en sus estudios observaciones de la evolución del PIB per cápita en lugar de los aspectos y fundamentos teóricos que se habían realizado hasta el momento.

En dichas observaciones sobre la evolución del PIB per cápita, se descubrió que determinadas economías, las cuales poseían unos niveles de ingreso muy altos, como es el caso de EE. UU., no tenían ni unas tasas de crecimiento muy altas ni muy bajas. En sustento de dicha estimación, también se observó que economías como la del África Sub Sahariana y algunos países latinoamericanos, caracterizadas por no poseer unos niveles de ingresos altos exhibían unas tasas de crecimiento muy bajas e incluso negativas.

Todas estas confrontaciones en cuanto a las tasas de crecimiento ocasionaron que se presumiera que el crecimiento de las economías es divergente, es decir, la brecha entre los países del Norte y los países del Sur es cada vez más acentuada. Por lo que debido a estos acontecimientos la idea de convergencia en cuanto a desarrollo económico iba perdiendo fuelle dado que se consideraba que las economías pobres no crecen a un ritmo mayor al ritmo en el que crecen las economías ricas por lo que la brecha entre los países ricos y los países pobres era cada vez más evidente.

Sin embargo, esta visión no era compartida por todos los estudiosos del ámbito del crecimiento, por lo que en oposición a esta visión dichos estudiosos comenzaron una corriente de ideas las cuales se oponían a la corriente de pensamientos sobre divergencia en cuanto al desarrollo económico de los países, la cual hoy la conocemos como modelos de crecimiento endógenos.

En estos años, debido a la corriente de ideas generadas que corroboraban la inexistencia de convergencia en cuanto a desarrollo económico de los países ocasionaron la más que evidente debacle de la teoría neoclásica, hasta que de repente Baumol (1986), concluyó que dentro del modelo de convergencia existen clubes de convergencia, los cuales explican los diferentes comportamientos de las tasas de crecimiento.

En los años noventa, dichas afirmaciones fueron apoyadas por Barro y Sala-i-Martín (1997) dos grandes estudiosos en el ámbito del crecimiento económico y la convergencia de las economías a lo largo del tiempo, los cuales justificaron y apoyaron la propuesta convencional de convergencia nacida en los estudios que dieron origen al modelo neoclásico, justificando dicha propuesta a través de la convergencia convencional la cual presupone que los países tienden a un mismo estado estacionario teniendo en cuenta que existen ciertas variables que pueden alterar dicho estado.

Los años 90, han dado lugar a numerosos estudios sobre cómo se debe analizar la convergencia y sobre qué variables deben ser objeto de estudio de dichos análisis, siendo los ya mencionados estudios del español Xavier Sala-i-Martín, los de mayor importancia. Sin embargo, existen otros grandes trabajos que han contribuido al desarrollo de los análisis de convergencia como es el caso de Bernard y Durlauf (1995) quienes tomando como punto de partida un marco estocástico basaron su estudio en el desarrollo de técnicas econométricas que sirvieran para la integración y el estudio de series temporales en análisis transversales, estableciendo la convergencia como una relación entre valores iniciales y el crecimiento para un intervalo de tiempo concreto pero también teniendo en cuenta las estimaciones a largo del PIBpc. Otra consideración a tener en cuenta es la de De la Fuente (1996) quien consideró que, la mejor forma de explicar el concepto de convergencia era identificándolo como un proceso de acercamiento consecuencia de la existencia de divulgación de la tecnología.

En suma, para culminar la corriente de pensamientos de los años 90, Quah (1996) explica los estudios sobre convergencia en torno a la idea de los análisis de la dinámica de la distribución, mediante una doble vía de estudio, el análisis de la dinámica intradistribucional y el uso de histogramas o de funciones de densidad para analizar la forma de la distribución.

### **3.3 Apuntes teóricos sobre convergencia y divergencia.**

Una de las principales causas del origen de los términos convergencia y divergencia es la existencia tanto de países cuyo crecimiento es diferente y desigual al crecimiento de otros países, como la existencia de países cuyo proceso de crecimiento tiende a asemejarse o a diferenciarse respecto al promedio de la tasa de crecimiento. Baumol (1986) constituye el primer antecedente que se conoce sobre el estudio de la existencia de convergencia absoluta entre países y uno de los estudios más célebres de la historia en cuanto a análisis de convergencia se refiere. En dicho estudio se analizó los cambios que sufrían en su economía una determinada muestra de países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para un periodo de tiempo que comprendía desde 1870 hasta 1979, periodo caracterizado por producirse un tardo y paulatino ritmo de convergencia entre los países de la muestra, debido a que relacionó las tasas de crecimiento del ingreso per cápita de la economía de cada país con su nivel inicial, obteniendo de tal forma una relación negativa entre dichas variables la cual interpretó como un signo de convergencia.

Sin embargo, en las diversas revisiones que se han realizado posteriormente se determinó la ausencia de convergencia entre dichos países dado que los datos y el proceso utilizado se habían llevado a cabo de forma errónea, incurriendo en errores como el establecimiento de relaciones negativas entre variables.

La revisión más importante de dicho trabajo fue la realizada por De Long (1988), quien criticó que el sesgo de selección influía de forma notoria en los resultados obtenidos, lo que suponía la desaparición de la convergencia cuando la muestra era ampliada.

En consecuencia, comenzaron a surgir numerosos estudios sugiriendo que el objetivo del modelo neoclásico no era estimar la convergencia beta absoluta, lo que supondría que los países con el paso del tiempo alcanzarían el mismo nivel de renta per cápita, sino que, por el contrario, cada país únicamente lograría su propio estado estacionario.

Finalmente, no se considera que el estudio sea erróneo, sino que se llegó a la conclusión de que, debido a la complejidad de este tipo de estudios de convergencia, los resultados y conclusiones que se obtienen dependen del proceso seguido para su ejecución y de los datos utilizados.

En suma, convergencia es sinónimo de punto de unión, extrapolando dicho término a nuestro estudio se puede entender la convergencia económica como la tendencia de los países a coincidir respecto a una variable determinada, en concreto, la finalidad de este estudio va a ser descubrir si los países de la Unión Europea convergen o divergen en el uso de determinados tipos de energía para lo cual diseñaremos un estudio de convergencia basado en los conceptos de sigma convergencia y de beta convergencia.

Por el contrario, divergencia es antónimo de convergencia, es decir la divergencia aplicada a nuestro trabajo se puede definir como la tendencia de los países a desviarse o alejarse respecto a una variable determinada.

A continuación, para definir y explicar los conceptos de beta convergencia y de sigma convergencia nos basaremos en los diversos estudios realizados por Xavier Sala-i-Martín, publicista y economista de origen español, el cual es conocido por sus amplios estudios en el campo del crecimiento económico.

### **3.3.1 Beta Convergencia.**

Barro y Sala-i-Martín (1990), acuñaron el término beta convergencia a través de una explicación basada en la observación de que los países más pobres, hablando en términos económicos, crecen a un ritmo mayor que los países más ricos a consecuencia de la existencia de rendimientos decrecientes en la conocida función Cobb Douglas, por lo que dichos rendimientos decrecientes son los indicadores de que los países con menor PIB per cápita son los que poseen un mayor ritmo de crecimiento, debido a que tienen una mayor productividad del capital pero en cambio tienen una menor productividad del trabajo. Dicha circunstancia es debida a que la característica principal de estos países es que son países exportadores de mano de obra mientras que son receptores de flujos de capital procedentes de países más ricos económicamente hablando.

El término de beta convergencia debe su nombre al parámetro Beta, el cual, hablando en términos de crecimiento económico, es un indicador que sirve para medir la velocidad de la convergencia, es decir, el ritmo de la convergencia en regresiones econométricas en las que existe una relación negativa con la tasa de crecimiento, la cual está expresada en base a los niveles iniciales de la variable de ingresos, constituyendo de tal forma uno de los pilares fundamentales de la teoría neoclásica del crecimiento económico.

Dicha deducción nos permite intuir que las economías más pobres, al poseer un capital menor en comparación al poseído por las economías más ricas, suelen tender a experimentar un crecimiento más rápido, en consecuencia, transcurrido un determinado periodo de tiempo es de esperar la convergencia entre las economías que posean unas características similares. El momento en que se produce dicha convergencia se conoce como estado estacionario, momento a partir del cual todas las economías que han alcanzado dicho estado crecerán en torno a una misma tasa constante de progreso técnico y tecnológico. Cuando se dice que una serie de economías poseen características similares, se hace referencia a que dichas economías presentan los mismos valores en los parámetros del modelo, compartiendo de tal forma la misma función de producción, lo cual conduce a la paulatina desaparición de las diferencias de ingresos entre esas economías.

Para cuantificar los efectos de la beta convergencia de una forma rigurosa, se procederá a realizar la loglinearización de la función conocida como Cobb Douglas, de la cual se obtendrá el siguiente estadístico:

$$\frac{1}{T} \log \left( \frac{y_{i,t}}{y_{i,t-T}} \right) = a - \frac{b \log(y_{i,t-T})}{T} + u_t^i$$

De la anterior expresión es de gran importancia destacar que el parámetro “a” representa los factores que afectan al crecimiento del PIB per cápita de cada uno de los países, por lo que depende de forma directa del PIBpc en el estado estacionario y de la tasa de crecimiento tecnológico. En cuanto al signo que precede al parámetro “a” se debe resaltar que es consecuencia de las diferentes causas propias de cada país como la cultura del país, su configuración institucional o incluso sus hábitos y costumbres.

El cálculo de  $\beta$  se realizará siguiendo la siguiente función:

$$\beta = -\frac{\log(1-b)}{T}$$

$\beta$  va a representar el ritmo al que se desarrollan los países para alcanzar la convergencia, sin embargo, se debe tener en cuenta que “b” es el parámetro asociado al efecto que tiene el PIBpc inicial sobre la tasa media de crecimiento para un determinado periodo, concluyendo que si el resultado de la ecuación es un parámetro “b” positivo se podrá afirmar la existencia de convergencia.

### 3.3.2 Sigma Convergencia.

Simultáneamente al nacimiento de la beta-convergencia, Barro y Sala-i-Martín (1990), también acuñaron el concepto conocido como sigma-convergencia, el cual es considerado como una medida de dispersión, razón por la cual se le denomina con la letra griega ( $\sigma$ ). Dicha convergencia se suele medir a través de la desviación estándar muestral, también conocida como coeficiente de variación, la cual se caracteriza por realizar un estudio estadístico a lo largo del tiempo, de las variaciones ocurridas en el comportamiento de un sujeto o grupo de sujetos determinados. La expresión de la ya mencionada desviación estándar muestral es la siguiente:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \left\{ \ln(y_{i,t}) - \mu_t \right\}^2}$$

En la cual, se observa que  $\sigma_t$  se refiere a la sigma convergencia,  $y_{i,t}$  expresa el valor de cada región denominadas como  $i$  en un momento  $t$ ,  $N$  hace referencia al número de sujetos que conforman la muestra y  $\mu_t$  es la media de los PIB per cápita de los sujetos en un momento  $t$ . De esta expresión concluimos que, si el valor inicial de  $\sigma$  es inferior al valor del estado estacionario, la varianza irá creciendo y que por el contrario si el valor inicial de  $\sigma$  es superior al valor del estado estacionario, la varianza decrecerá a lo largo del tiempo.

En conclusión, se determina que solo existirá convergencia sigma en los supuestos de que la varianza inicial sea superior al valor del estado estacionario. Barro y Sala-i-Martín (1990), demostraron que el concepto de beta convergencia y el de sigma convergencia están íntimamente relacionados, estableciendo que la beta convergencia es una condición necesaria pero no suficiente para la existencia de la sigma convergencia. Mientras que si el valor de beta fuera negativo significaría una tendencia de  $\sigma$  al crecimiento sin límite.

## 4. Análisis Sigma Convergencia.

### 4.1 Metodología.

Para realizar el análisis de la beta convergencia se han obtenido los consumos por países de cada tipo de energía para un intervalo de tiempo que comprende desde el año 1990 hasta el 2017, dichos datos han sido obtenidos de la base de datos Eurostat, no obstante, dichos datos no están expresados en consumo per cápita por lo que ha sido necesario obtener los censos de población de cada país para cada año del período, también de la base de datos Eurostat, para poder expresarlos en consumos per cápita. Para calcular los consumos de cada energía per cápita, se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo pc del país } x \text{ en el año } t = \frac{\text{consumo del país } x \text{ en el año } t}{\text{población del país } x \text{ en el año } t}$$

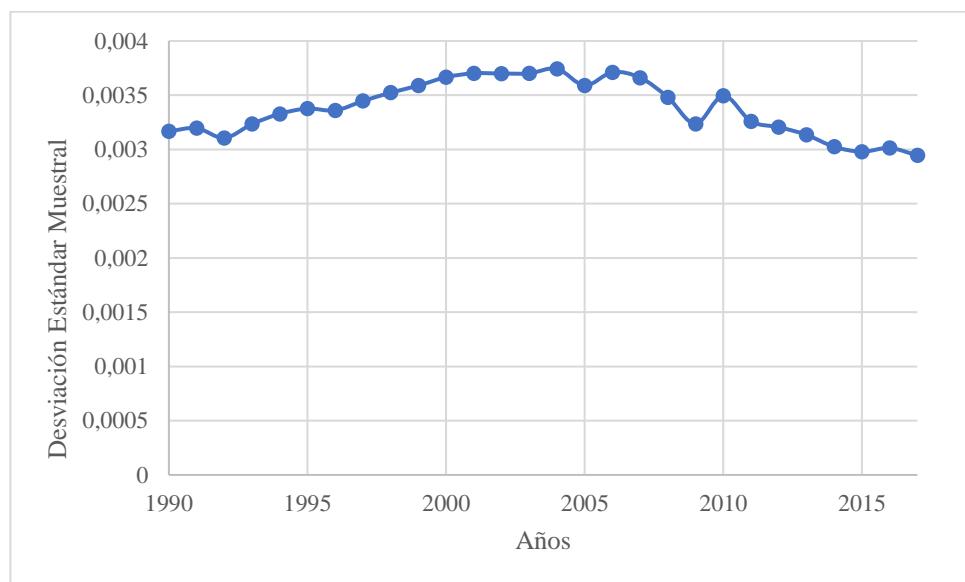
Para realizar el análisis beta convergencia sobre el uso de los 4 tipos de energía seleccionados, se va a utilizar la herramienta Excel, herramienta que nos va a servir para obtener el consumo per cápita de cada país, los cuales vienen recogidos en las tablas pertenecientes a los anexos II, III y IV.

Una vez obtenidas las tablas que recogen los consumos de los 4 tipos de energía, se va a proceder al cálculo de la desviación estándar muestral a través de la función matemática DESVEST que permite utilizar Excel, mediante la cual se llevará a cabo el análisis de sigma convergencia. A continuación, se realizarán 4 gráficos de dispersión abarcando el primero de ellos el período global correspondiente desde el año 1990 hasta el año 2017, seguido de 3 gráficos que abarcarán 3 subperiodos siendo el primer subperiodo desde el año 1990 hasta el año 2000, el segundo subperiodo desde el año 2000 hasta el año 2010 y el tercer subperiodo desde el año 2010 hasta el año 2017, los cuales permitirán estudiar la beta convergencia de forma descriptiva.

Se ha escogido esta metodología de gráficos y esta distribución en período global y subperiodos con objetivo de poder evaluar nítidamente como se han modificado los patrones energéticos dentro de la Unión Europea desde 1990 hasta 2017.

#### 4.2 Análisis sigma convergencia sobre el uso de las energías en los países europeos durante el periodo de tiempo 1990-2017.

**Gráfico 4.2.1** Desviación Estándar del uso de electricidad en el período 1990-2017.



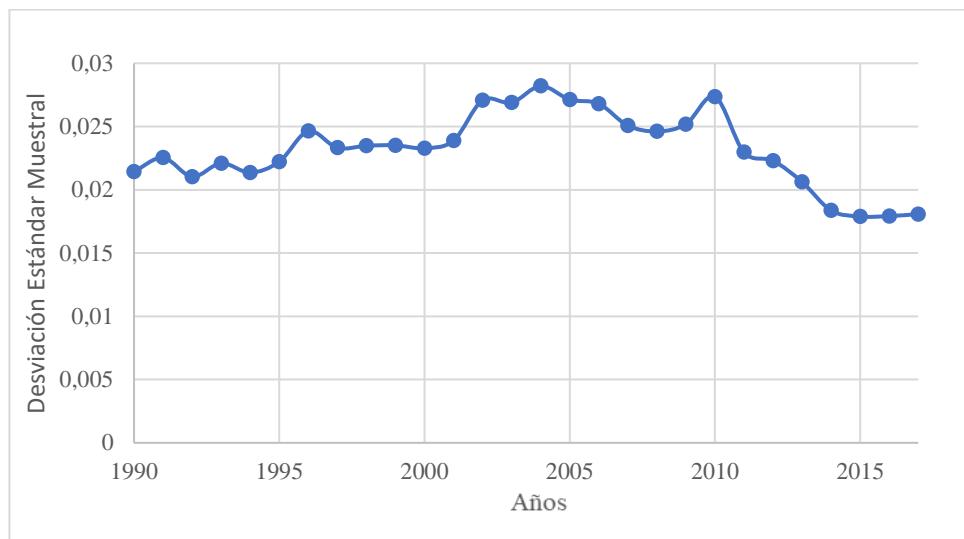
Fuente: Elaboración propia.

Si se observa la gráfica anterior, la cual relaciona las desviaciones estándares muestrales de los países con los años pertenecientes al periodo objeto de estudio, se puede apreciar de forma sencilla dos claras tendencias.

La primera tendencia, abarca desde el año 1990 hasta el año 2004 destacando por ser claramente creciente por lo que no presenta existencia de sigma convergencia.

Por otro lado, el año 2004 sirve como punto de inflexión para la gráfica debido a que a partir de este año la tendencia seguida hasta ese momento cambia de forma radical, dando lugar a la segunda tendencia observada en la gráfica, la cual abarca desde el año 2004 hasta el final del periodo en el año 2017, dada esta tendencia decreciente se podría afirmar que los países que conforman la muestra convergen en términos de sigma convergencia en el uso de electricidad en el periodo de tiempo que comprende desde el año 2004 hasta el año 2017, destacando el año 2010 como único punto concreto que corta dicha tendencia decreciente.

**Gráfico 4.2.2 Desviación Estándar del uso de gas en el período 1990-2017.**

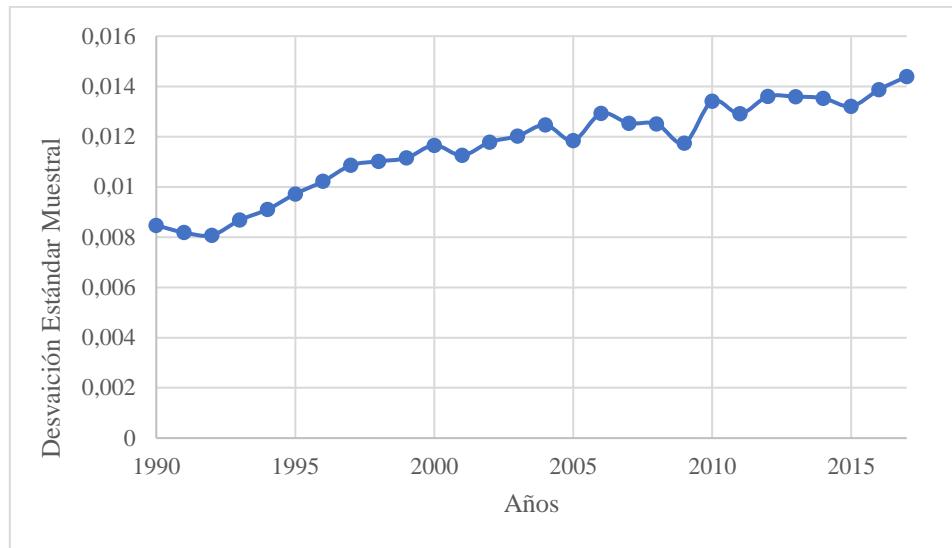


Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 4.2.2, muestra cómo evolucionan las desviaciones estándares muestrales de los países de la muestra con el paso de los años, dicha gráfica no muestra una clara tendencia puesto que su trayectoria es muy irregular, sin embargo, es de gran importancia destacar la existencia de dos claras tendencias, ocurriendo la primera entre el periodo de tiempo que comprende desde el año 1990 hasta el año 2004 y caracterizándose por tener un marcado carácter creciente, que se traduce en ausencia de convergencia entre los países objeto de estudio en cuanto al uso de gas entre los años 1990-2004.

La segunda tendencia que se puede observar en el gráfico coincide con el fin del periodo, al abarcar desde el año 2004 hasta el año 2017 debido a que se observa que a partir de ese año la evolución de las desviaciones estándares de los países es decreciente, razón por la cual se puede establecer la existencia de sigma convergencia durante dicho intervalo de años, convergencia que se puede explicar por la gran conciencia y compromiso que han adoptado todos los países de la Unión Europea sobre la reducción del uso de combustibles fósiles debido a sus impactos negativos sobre el medioambiente y dada su futura desaparición.

**Gráfico 4.2.3.** Desviación Estándar del uso de biocombustibles en el período 1990-2017.

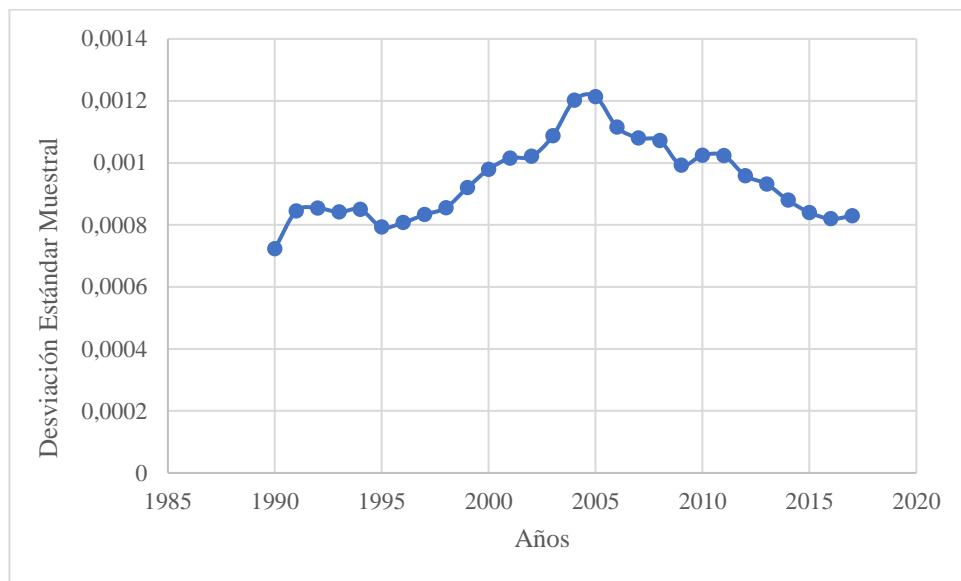


Fuente: Elaboración propia.

Pese a existir determinados tramos que pondrían considerarse como decrecientes, la trayectoria seguida por la evolución de las desviaciones estándares muestrales de los países de la muestra durante el periodo 1990-2017 que se muestra en la gráfica 4.2.3, es creciente, lo que indica la ausencia de convergencia de tipo sigma en el uso de biocombustibles por los países estudiados, esto se debe a que es una energía muy reciente, datando su origen del siglo XX, por lo que se necesita de una gran inversión económica para su puesta en funcionamiento.

La ausencia de convergencia de tipo sigma en el uso de combustibles se fundamenta en las grandes diferencias económicas que existen entre los países de la muestra, lo que ocasiona que no todos los países puedan dirigir parte de sus presupuestos al desarrollo y puesta en funcionamiento de este tipo de energías, mientras que otros países con mayor capacidad económica sí que son capaces de realizar dicho esfuerzo económico. Se debe destacar el periodo que comprende desde el año 2008 hasta el año 2017, dado que permite observar cómo los efectos de la gran crisis económica originada en el año 2008 afectan a las desviaciones estándares muestrales de los países de forma que dicha desviación se hace mayor en los años posteriores al año 2008.

**Gráfica 4.2.4 Desviación Estándar del uso de petróleo en el período 1990-2017.**



Fuente: Elaboración propia.

Si se observa la gráfica 4.2.4, la cual muestra la relación existente entre las desviaciones estándares muestrales de los países que forman la muestra con el periodo de años objeto de estudio, se observa cómo la trayectoria es creciente al principio del periodo, desde el año 1990 hasta el año 2005, coincidiendo con uno de los períodos en los que más petróleo se ha consumido de la historia, según los datos aportados por la base de datos Eurostat.

Sin embargo, el año 2005 sirve como punto de inflexión de la gráfica dado que, a partir de ese año, la tendencia de la gráfica seguida hasta ese momento cambia y se transforma en una tendencia decreciente, que indica la existencia de sigma convergencia durante los años 2005 a 2017. La presente gráfica es muy similar a la gráfica que muestra las desviaciones estándares muestrales sobre el uso de gas, al ser creciente al inicio del periodo y decreciente al final del periodo, no siendo esto coincidencia, debido a que ambas gráficas muestran el conocimiento y el compromiso adquirido por los países europeos sobre las nefastas consecuencias que conllevan el uso de combustibles fósiles.

#### **4.3 Comparación de los resultados obtenidos en el análisis sigma convergencia.**

A continuación, se va a realizar una comparación de los resultados obtenidos sobre el uso de los países objeto de estudio de los 4 tipos de energías para lo cual se va a estudiar cómo era el consumo de estas energías antes de la crisis, es decir, para el periodo 1990-2008 y cómo ha sido el consumo una vez originada la crisis durante los años 2008-2017.

##### *Periodo 1990-2008:*

Si se observan los gráficos mostrados en el apartado anterior, se puede concluir que en este subperiodo las desviaciones estándares de los consumos de los diferentes tipos de energía se han ido incrementando con el paso de los años, debido a que las trayectorias seguidas por las desviaciones de todos los tipos de energía siguen una tendencia creciente, en términos generales. Hechos que se traducen en ausencia de sigma convergencia.

Sin embargo, dicha tendencia creciente ha sido más pronunciada en el consumo de biocombustibles y petróleo, mientras que ha sido más suave en el consumo de gas y electricidad.

##### *Periodo 2008-2017:*

A partir de 2008, origen de la gran recesión económica mundial, se observa a través de los gráficos mostrados en el apartado anterior como las tendencias seguidas hasta justo antes de producirse la crisis, cambian de forma radical debido a que ahora ya no tienen una tendencia creciente, sino que tienen una tendencia decreciente que se traduce en la existencia de sigma convergencia durante dicho subperiodo.

Sin embargo, existe una excepción debido a que la trayectoria de la gráfica 3, la cual muestra las desviaciones estándares sobre el uso de combustibles sigue siendo ligeramente creciente, razón por la cual se puede afirmar la no existencia de sigma convergencia para el uso de dicha energía durante el subperiodo 2008-2017.

## 5. Análisis Beta Convergencia

A continuación, se va a realizar un análisis sobre la posible existencia o ausencia de beta convergencia con el objetivo de ampliar y verificar la información sobre si los países europeos estudiados en la muestra convergen o divergen en el uso de gas, petróleo, biocombustibles y electricidad durante el intervalo de tiempo que comprende desde el año 1990 al año 2017.

Para ello se van a utilizar el programa Excel, el cual facilitará los cálculos tanto a la hora de estimar la regresión econométrica como a la hora de realizar los gráficos de dispersión.

En primer lugar, se procederá al estudio de 4 gráficos de dispersión correspondientes a los diferentes tipos de energías objeto de estudio del presente apartado, dichos gráficos representarán los puntos obtenidos a través del cálculo de la Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) y el logaritmo en base 10 del consumo per cápita de cada energía tomando como base el año 1990.

Para calcular la TCMA, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{TCMA} = \log \left( \frac{\text{consumo per cápita de la energía } i \text{ por el país } x \text{ en el año 2017}}{\text{consumo per cápita de la energía } i \text{ por el país } x \text{ en el año 1990}} \right)$$

Para calcular el logaritmo en base 10 del consumo de cada país en el año base 1990, se utilizará la siguiente expresión:

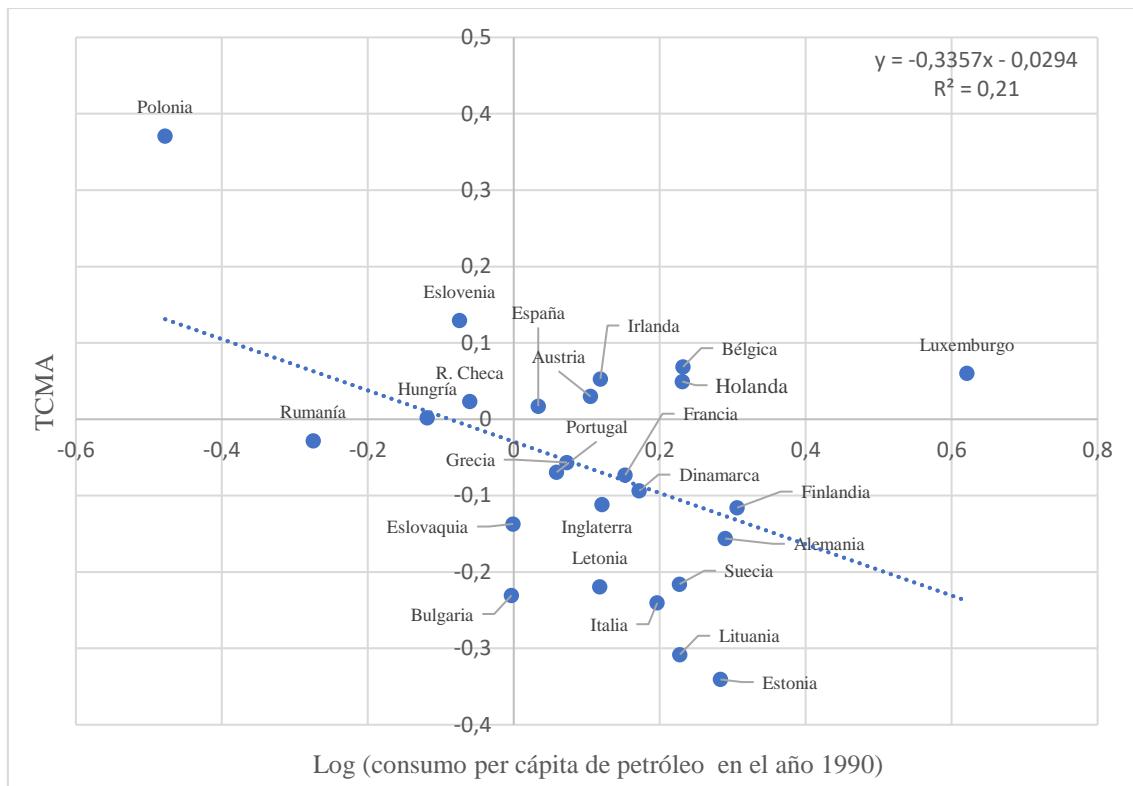
Log (consumo per cápita de la energía  $i$  por el país  $x$  en el año 1990).

De esta forma, si se iguala ambas expresiones se obtendrá el modelo econométrico que se utilizará posteriormente para determinar la existencia de convergencia o divergencia, quedando la expresión de dicho modelo de la siguiente forma:

$$\text{TCMA}_{i,t} = \alpha + \beta \log (\text{consumo de la energía } i \text{ per cápita}_{i,t}) + u_{i,t}$$

Una vez obtenidos los gráficos se procederá a su descripción y análisis, en el cual se comentará la posible existencia o ausencia de convergencia gracias al uso de líneas de tendencia, considerando que existe convergencia cuando el valor de  $\beta$  sea negativo, razón por la cual la línea de tendencia será decreciente. Por el contrario, se determinará la existencia de divergencia cuando el valor de  $\beta$  sea positiva siendo de esta forma la línea de tendencia que aparecerá en los gráficos creciente.

**Gráfico 5.1** Gráfico de dispersión sobre el uso de petróleo para el análisis  $\beta$ .



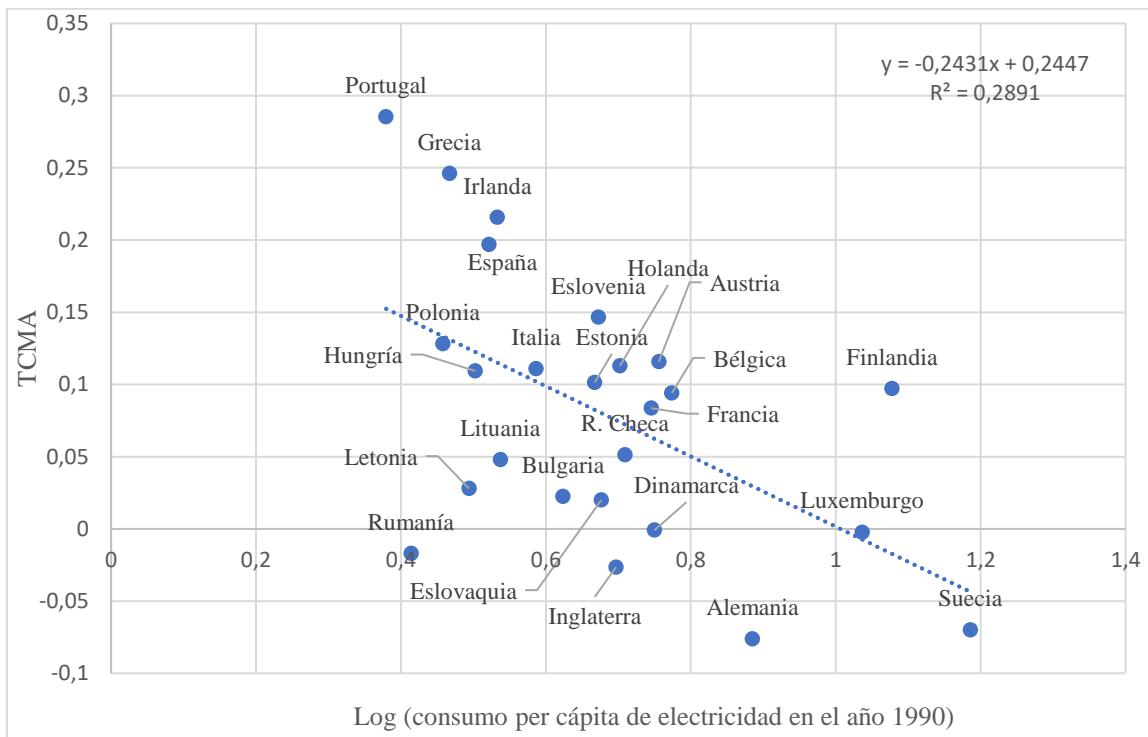
Fuente: Elaboración propia

El gráfico 5.1, muestra la relación existente entre el logaritmo del consumo per cápita de petróleo que efectúan los países pertenecientes a la muestra objeto de estudio durante el año 1990 y la TCMA de cada país sobre su consumo de petróleo.

Si se estudia el anterior gráfico se puede concluir la existencia de convergencia para el conjunto de países que conforman la muestra sobre el uso de petróleo durante el período que comprende desde el año 1990 hasta el año 2017, debido a que el valor de  $\beta$  es negativo por lo que la línea de tendencia representada en el gráfico muestra una clara tendencia decreciente. Cabe destacar que Polonia es el país con la mayor TCMA, lo que indica que es el país que en términos medios sufre un mayor crecimiento en cuanto a consumo per cápita de petróleo. Por otro lado, el país que obtiene la menor TCMA es Estonia, lo que significa que es el país que más ha reducido su consumo de petróleo desde el año 1990 hasta el año 2017.

Es de gran importancia destacar el elevado número de TCMA con valores negativos que indican que los países reducen el consumo en petróleo y el también elevado número de TCMA con valores muy pequeños que indican que el aumento en su consumo de petróleo es muy pequeño, signos que denotan que el periodo objeto de estudio es un periodo de compromiso y conciencia de los países con el medio ambiente al reducir sus consumos de petróleo en beneficio de energías limpias y renovables.

**Gráfico 5.2** Gráfico de dispersión sobre el uso de electricidad para el análisis  $\beta$ .



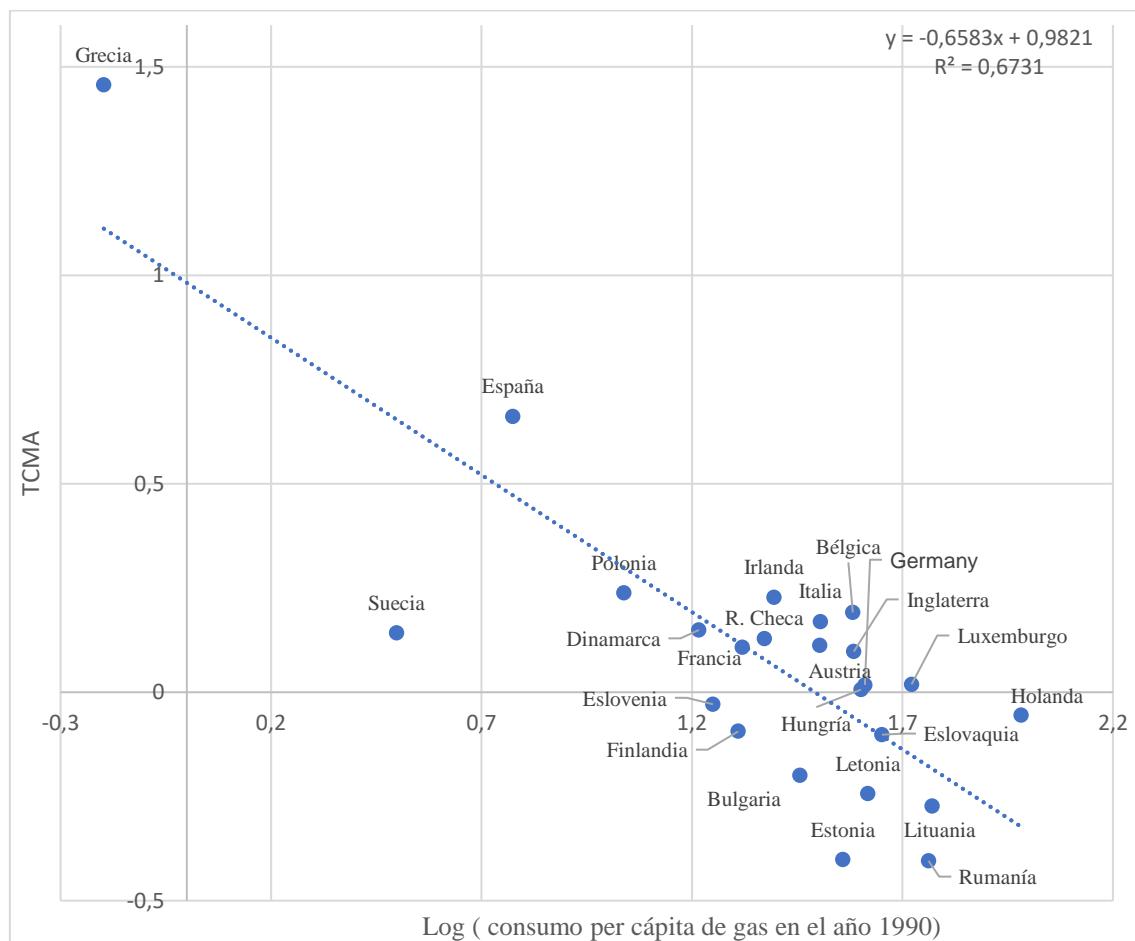
Fuente: Elaboración propia

A través del estudio de la figura anterior, la cual representa la relación que existe entre el logaritmo en base 10 del consumo de electricidad de cada país en el año 1990 con respecto a la TCMA en cuanto al uso de electricidad de cada país desde el año 1990 hasta el año 2017, se puede determinar la existencia de convergencia a consecuencia del valor negativo del parámetro  $\beta$ , razón por la cual la línea de tendencia que se muestra en el gráfico anterior es decreciente.

Portugal se establece como el país que más ha crecido en términos de la TCMA sobre el uso de electricidad, al crecer exactamente un 28.5%, seguido de Grecia con una TCMA de un 24.6%.

En cambio, Alemania, es el país con la TCMA más baja de los países que conforman la muestra mientras que Suecia se confirma como la segunda TCMA más baja, siendo ambas últimas tasas de signo decreciente lo que indica que dichos países han reducido su consumo en el año 2017 con respecto a su consumo en el año 1990. Estos datos llaman mucho la atención dado que confirman que países desarrollados como Alemania (4<sup>a</sup> posición del ranking) y Suecia (5<sup>a</sup> posición del ranking) convergen en el consumo de electricidad en el citado periodo con países menos desarrollados.

**Gráfico 5.3** Gráfico de dispersión sobre el uso de gas para el análisis  $\beta$ .



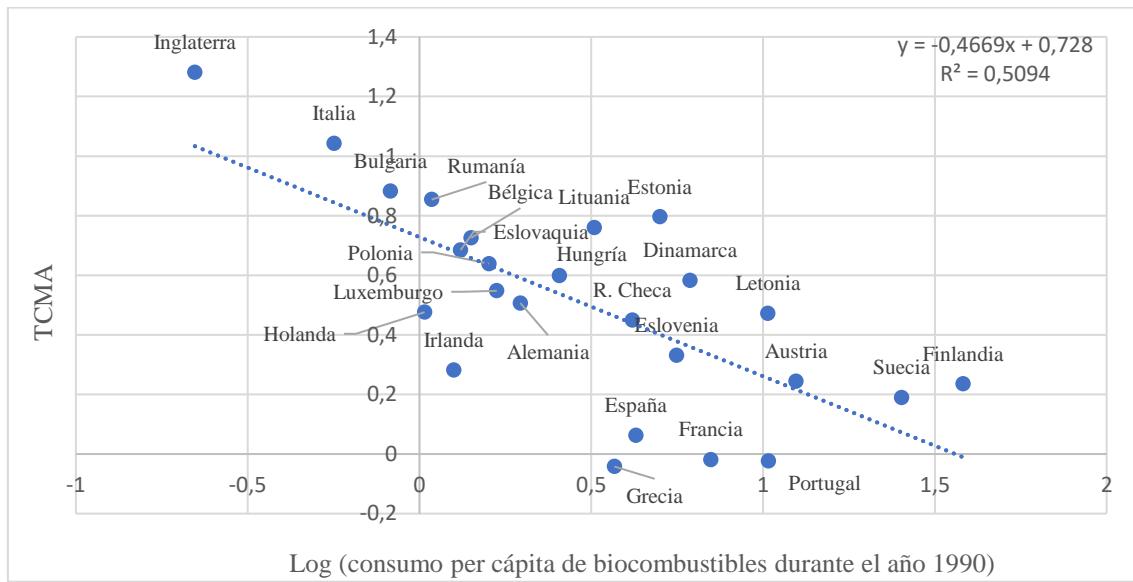
Fuente: Elaboración propia.

Si se observa los valores de los ejes del gráfico anterior se puede determinar que representa la relación entre la TCMA correspondiente a cada país, la cual se grafica en el eje de ordenadas y entre el logaritmo del consumo per cápita de gas durante el año 1990 por cada país que conforma la muestra objeto de estudio.

Resulta de gran importancia destacar el hecho de que existe convergencia entre los países europeos pertenecientes a la muestra sobre el consumo de gas durante el periodo que comprende los años 1990 a 2017, debido a que el valor de  $\beta$  es negativo por lo que a consecuencia de esto la línea de tendencia que aparece en la gráfica es claramente decreciente. Por un lado, Grecia es el país que más crece en cuanto a consumo de gas se refiere, al obtener la TCMA más alta entre todos los países aumentando su consumo de gas desde los 6.426 Tera julios consumidos durante el año 1990 hasta los 195.554 Tera julios consumidos durante el año 2017 seguido por España, país que se consolida como el segundo país que más ha crecido durante este periodo en cuanto a consumo de gas.

Por otro lado, aparecen países como Rumanía o Estonia, quienes se diferencian al resto por obtener tasas negativas muy inferiores a la del resto de países de la muestra. Sin embargo, si se deja a un lado los casos extremos que se acaban de comentar, se puede observar como la tendencia general seguida por los países de la muestra es de reducir su consumo en gas o de no incrementarlos al mantener unas TCMA muy pequeñas dando lugar a la existencia de convergencia, lo cual está fuertemente relacionado con el firme compromiso adoptado por los países que forman parte de la muestra de reducir sus consumos en combustibles fósiles en favor del medioambiente y de las energías renovables.

**Gráfico 5.4** Gráfico de dispersión sobre el uso de biocombustibles para el análisis  $\beta$



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 5.4, muestra como los países convergen en cuanto al consumo de biocombustibles durante el periodo que comprende los años 1990 a 2017 al representar la relación entre la TCMA y el logaritmo del consumo de biocombustibles de cada país sobre el uso de biocombustibles y adoptar un valor negativo el parámetro  $\beta$  lo que ocasiona un comportamiento decreciente de la línea de tendencia.

Si se observa la gráfica, se puede concluir que los países europeos pertenecientes a la muestra han dado gran importancia a aumentar su consumo en biocombustibles o al menos a no reducirlo pese a haber sufrido los efectos de una gran crisis económica como la surgida en el año 2008. A consecuencia de esto, se puede observar como la mayoría de los países han hecho esfuerzos para incrementar su consumo en este tipo de energía renovable pese a no ser una energía barata, cabe resaltar el ejemplo de Inglaterra, país que obtiene la mayor TCMA al aumentar de forma muy considerada su consumo en biocombustibles durante el año 2017 en comparación a su consumo durante el año 1990. Por otro lado, los países con menor TCMA son Grecia y Portugal, sin embargo, a diferencia de lo ocurrido con los otros tipos de energía ocurre que estas TCMA son muy cercanas a 0, es decir, estos países pese a tener las menores TCMA, se han preocupado por mantener su consumo en biocombustibles, hechos que refuerzan el compromiso adquirido por los países de muestra con el planeta a través del uso de energías no contaminantes y renovables.

Finalmente se debe resaltar que los  $R^2$  obtenidos mediante el análisis econométricos son muy bajos en los estudios sobre el consumo de electricidad y petróleo por los países que conforman la muestra durante el periodo de tiempo que comprende desde el año 1990 hasta el año 2017 siendo 0.2891 y de 0.21 respectivamente, lo que indica que la capacidad explicativa de ambos modelos es muy limitada al ser de un 28.91% en el caso del consumo de electricidad y de un 21% en el caso del consumo de petróleo. Sin embargo, las  $R^2$  obtenidas a través de los análisis econométricos sobre el uso del gas y de los biocombustibles son mayores a las anteriores al obtenerse unos valores de  $R^2$  de 0.6731 y de 0,5094 respectivamente, indicando que la capacidad explicativa de estos modelos es del 67.31% en el caso del consumo de gas y del 50.94% en el caso del consumo de biocombustibles.

No obstante, dichos valores siguen siendo bajos dado que se considera que cuanto más se acerca el valor de  $R^2$  a 1 mayor capacidad explicativa tiene el modelo, por lo tanto, se llega a la conclusión de que la tasa de crecimiento del consumo per cápita de electricidad, gas, biocombustibles y petróleo debe explicarse utilizando otros factores además de los ya utilizados. Sin embargo, el análisis realizado permite obtener una idea aproximada sobre cómo han evolucionado los países en el consumo de dichas energías desde el año 1990 hasta el año 2017.

## 6. Conclusiones

A continuación, se van a describir los resultados obtenidos tanto del análisis de sigma convergencia, como de la comparación que se ha realizado de dicho análisis.

En primer lugar, los resultados obtenidos del análisis de sigma convergencia y su posterior comparación, permiten concluir que no existe sigma convergencia durante el periodo 1990-2008 para ninguno de los cuatro tipos de energía. Sin embargo, si que se puede afirmar la existencia de sigma convergencia durante el periodo posterior a la gran recesión mundial sobre el uso de electricidad, petróleo y gas, a excepción únicamente del caso de los biocombustibles, en los que no se puede afirmar la existencia de sigma convergencia en ninguno de los dos subperiodos.

Una vez expuestas las conclusiones sobre el análisis sigma convergencia, se van a explicar las conclusiones obtenidas sobre el análisis beta convergencia mediante un resumen de los resultados obtenidos en dicho análisis.

Los resultados que ofrece el análisis beta convergencia sobre el uso de la electricidad a lo largo de los años entre los países de la muestra, permiten concluir que existe convergencia de tipo beta al ser decreciente la línea de tendencia y negativo el parámetro  $\beta$ . Además, es de gran importancia destacar que esta convergencia se debe a que, países de los más desarrollados de la muestra como son Alemania, Finlandia, Luxemburgo o Inglaterra, son los países que obtienen menor TCMA, mientras que los países que obtienen las mayores TCMA, son países menos desarrollados como Portugal o Grecia.

Sobre el uso de petróleo, las conclusiones que se pueden obtener en términos de beta convergencia son la existencia de ésta entre los países de la muestra, al ser el valor del parámetro  $\beta$  negativo, lo que ocasiona que la línea de tendencia sea decreciente. Cabe destacar que, la mayoría de las TCMA son negativas, lo que indica que los países que han obtenido dichas TCMA, han reducido sus consumos de petróleo en el periodo objeto de estudio, destacando que los países que más han reducido su consumo en petróleo son Lituania, Estonia y Suecia. Esta reducción en las TCMA está ligada con la idea que se exponía en el análisis de sigma convergencia, dado que está relacionada con la conciencia y el compromiso que han adoptado los países europeos sobre las nefastas consecuencias para el medioambiente que conllevan el uso de combustibles fósiles como el petróleo.

El análisis beta convergencia sobre el uso de biocombustibles, permite observar cómo la mayoría de los países de la muestra, obtienen una TCMA positiva, lo que indica que la mayoría de los países está haciendo esfuerzos económicos por la implantación de biocombustibles en sus respectivas sociedades, a favor de una cultura comprometida con el desarrollo sostenible y respetuosa con el medioambiente, siendo los países que obtienen una mayor TCMA, Inglaterra e Italia. También se observan indicios de existencia de beta convergencia al obtener un valor negativo de  $\beta$  y observar una línea de tendencia decreciente en la gráfica, lo que implica la actitud proactiva de los países por energías renovables y respetuosas con el medioambiente.

Finalmente, los resultados que ofrece el análisis beta convergencia sobre el uso de gas, entre los países de la muestra en el periodo que comprende desde el año 1990 hasta el año 2017, son muy similares a los obtenidos en el caso del petróleo al ser la mayoría de las TCMA negativas, lo que indica que los países europeos han reducido su consumo en gas desde el año 1990, a consecuencia del compromiso adoptado con el medioambiente, siendo Estonia y Lituania los países con menor TCMA. También se puede determinar la existencia de beta convergencia dado el carácter negativo de  $\beta$  y la tendencia decreciente que muestra la línea de tendencia.

## 7. Referencias bibliográficas.

### Bibliografía:

Sánchez, F., Dopazo, C., López, F.J., Fernández, R., y Pérez, F. (2013). *Una década de análisis de las tecnologías energéticas*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI.

### Webgrafía:

Alonso, J.J. (2006). Las energías renovables. *Páginas de Información Ambiental*, 22, pp. 24-27. Recuperado el día 5 de Mayo de 2019 de: <file:///C:/Users/Lenovo/Desktop/Dialnet-LasEnergiasRenovables-2348340.pdf>

Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (1990). Economic Growth and Convergence across The United States, *Journal of Political Economy*, 86 (4), pp.549- 580. Recuperado el día 1 de Marzo de 2019 de: <https://econpapers.repec.org/paper/nbrnberwo/3419.htm>

Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (1997). Technological diffusion, convergence, and growth, *Journal of Economic Growth*, 2, pp.1-26. Recuperado el día 1 de Marzo de 2019 de: [https://econpapers.repec.org/article/kapjecgro/v\\_3a2\\_3ay\\_3a1997\\_3ai\\_3a1\\_3ap\\_3a1-26.htm](https://econpapers.repec.org/article/kapjecgro/v_3a2_3ay_3a1997_3ai_3a1_3ap_3a1-26.htm)

Bastidas, A. (1996). ¿Convergencia económica? *Ensayos de economía*, 7(11), pp.77-99. Recuperado el día 7 de Marzo de 2019 de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/23793/24470>

Baumol, W. (1986). Productivity Growth, Convergence and Welfare What the Long Run Data Show. *American Economic Review*, pp. 1072-1085. Recuperado el día 10 de Marzo de 2019 de: <http://piketty.pse.ens.fr/files/Baumol1986.pdf>

Bernard, A. y Durlauf, S. (1995). Convergence in international output. *Journal of Applied Econometrics*, 10(2), pp. 97-108. Recuperado el día 22 de Mayo de 2019 de: [https://econpapers.repec.org/article/jaejapmet/v\\_3a10\\_3ay\\_3a1995\\_3ai\\_3a2\\_3ap\\_3a97-108.htm](https://econpapers.repec.org/article/jaejapmet/v_3a10_3ay_3a1995_3ai_3a2_3ap_3a97-108.htm)

Bon, F.J. y Ramos, R. (2007). El Sol, una fuente de energía limpia y rentable. *Mundo del agrónomo*, 1, pp. 9-10. Recuperado el día 28 de Mayo de 2019 de: <http://www.agronomoscentro.org/images/mda/mda1.pdf>

Colino, A. (2008). Energía. 82, pp. 6-11. Recuperado el día 25 de Mayo de 2019 de: <http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/pdf/01.%20Antonio%20Colino%20Mart%20EDnez.pdf>

De la Fuente, A. (1996). "Catch-up, Growth and Convergence in the OECD," *CEPR Discussion Papers 1274*. Recuperado el día 20 de Marzo de 2019 de: <https://econpapers.repec.org/paper/cprceprdp/1274.htm>

De Long, J. (1988). Productivity growth, convergence and welfare: comment. *American Economic Review* 78 (5) pp. 1.138-1.154. Recuperado el día 23 de Marzo de 2019 de: [https://econpapers.repec.org/article/aeaarev/v\\_3a78\\_3ay\\_3a1988\\_3ai\\_3a5\\_3ap\\_3a1138-54.htm](https://econpapers.repec.org/article/aeaarev/v_3a78_3ay_3a1988_3ai_3a5_3ap_3a1138-54.htm)

Energialis. (2019). Evolución de la Energía a lo largo de la historia. Recuperado el día 10 de Mayo de 2019 de: <https://energialis.com/2017/05/27/como-ha-sido-la-evolucion-de-la-energia-a-lo-largo-de-la-historia/>

Grossman G. y Helpman E. (1991): *European Economic Review*, 35 (2-3), pp. 517-526. Recuperado el día 17 de Abril de 2019 de: [https://econpapers.repec.org/article/eeearev/v\\_3a35\\_3ay\\_3a1991\\_3ai\\_3a2-3\\_3ap\\_3a517-526.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeearev/v_3a35_3ay_3a1991_3ai_3a2-3_3ap_3a517-526.htm)

Nuclenor. (2011). Central Nuclear de Santa María de Garoña. *Revista Info*, 139. Recuperado el día 20 de Mayo de 2019 de: <http://nuclenor.org/public/revista/INFO139.pdf>

Quah, D. (1996). Convergence empirics across economies with (some) capital mobility. *Journal of Economic Growth*, 1, pp. 95-124. Recuperado el día 2 de Abril de 2019 de: [https://www.researchgate.net/publication/4762153\\_Convergence\\_Empirics\\_Across\\_Economies\\_with\\_Some\\_Capital\\_Mobility/download](https://www.researchgate.net/publication/4762153_Convergence_Empirics_Across_Economies_with_Some_Capital_Mobility/download)

Reyes, P.J. (1999). Combustibles, fósiles y contaminación. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 1(8), pp. 87-92. Recuperado el día 5 de Mayo de 2019 de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5313914>

Romer P. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *The Journal of Political Economy*, 94 (5), pp. 1002-1037. Recuperado el día 25 de Marzo de 2019 de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.589.3348&rep=rep1&type=pdf>

Sánchez, P. y Prada, A. (2014). Del concepto de crecimiento económico al de desarrollo de las naciones: una aplicación a la Unión Europea. *Revista de Economía Mundial*, 40., pp. 221-252. Recuperado el día 22 de Marzo de 2019 de: <http://www.redalyc.org/pdf/866/86641407010.pdf>

Solow, R. (1956). A Contribution to The Theory of Economic Growth, *The Quarterly Journal Of Economics*, 70 (1), pp. 65-94. Recuperado el 6 de Abril de 2019 de: <http://piketty.pse.ens.fr/files/Solow1956.pdf>

Swan, T. (1956). Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 32(2), pp. 334-361. Recuperado el día 2 de Mayo de 2019 de: [https://econpapers.repec.org/article/blaecorec/v\\_3a32\\_3ay\\_3a1956\\_3ai\\_3a2\\_3ap\\_3a334-361.htm](https://econpapers.repec.org/article/blaecorec/v_3a32_3ay_3a1956_3ai_3a2_3ap_3a334-361.htm)

Valls, P. (2005). Biocombustibles. *Manual formativo de ACTA*, 35, pp. 53-60. Recuperado el día 6 de Mayo de 2019 de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5098611>