



Máster Universitario en Economía y Desarrollo

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales



EFFECTO DE LA ENERGÍA PRODUCTIVA SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN NUEVE PAISES DEL NORTE DE EUROPA: APROXIMACIÓN MEDIANTE UNA FUNCIÓN TRANSLOG.

Trabajo de Fin de Máster presentado para optar al Título de Máster Universitario en Economía y Desarrollo por D. David Mesa Ruiz, siendo la tutora del mismo la Dra. D^a. María Del Populo Pablo-Romero Gil-Delgado.

Vº. Bº. de la Tutora:

Alumno:

Dra. D^a. María Del Populo
Pablo-Romero Gil-Delgado

D. David Mesa Ruiz

Sevilla, 8 de septiembre de 2017.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO [2016-2017]

TÍTULO:

**EFFECTO DE LA ENERGÍA PRODUCTIVA SOBRE EL CRECIMIENTO
ECONÓMICO EN NUEVE PAÍSES DEL NORTE DE EUROPA:
APROXIMACIÓN MEDIANTE UNA FUNCIÓN TRANSLOG.**

AUTOR:

DAVID MESA RUIZ

TUTOR ACADÉMICO:

Dra. D^a. MARÍA DEL POPULO PABLO-ROMERO GIL-DELGADO

RESUMEN:

El reciente acuerdo de París de 2015, enfatiza la necesidad de que todos los países lleven a cabo medidas para mitigar las emisiones de CO₂. El consumo de energía se convierte en un factor clave de reducción de emisiones. Este consumo está vinculado a la actividad productiva y a su relación con otros factores productivos. En este trabajo, se analiza el efecto de la energía sobre el crecimiento económico en nueve países del norte de Europa entre los años 1990 y 2014 y las relaciones de complementariedad o sustituibilidad con otros factores productivos.

Para ello, se estima una función de producción translog mediante técnicas econométricas de datos de panel. A partir de los resultados de la estimación se obtienen las elasticidades output y marginales de cada uno de los factores productivos, lo que permite analizar las relaciones entre los factores productivos analizados. En el análisis, se añade además dos variables que miden la influencia del gobierno y la regulación en la libertad económica y, por tanto, en la actividad productiva.

Los resultados muestran un efecto positivo de la energía sobre el crecimiento económico, y relaciones de complementariedad con el capital humano y de sustituibilidad con el capital físico. El capital humano es el único factor que presenta rendimientos crecientes a escala. Adicionalmente, los resultados muestran una relación significativamente positiva entre la disminución de la intervención del gobierno y la regulación en la libertad económica y el crecimiento económico.

PALABRAS CLAVE: Función Translog, Crecimiento Económico, Europa, Libertad Económica, Elasticidad.

TITLE:

PRODUCTIVE ENERGY EFFECTS ON ECONOMIC GROWTH IN NINE COUNTRIES IN NORTHERN EUROPE: AN APPROACH THROUGH A TRANSLOG FUNCTION.

ABSTRACT:

The recent Paris agreement of 2015 points out the need of implementing policies to reduce CO2 emissions by all the countries in the world. Energy consumption is a key factor for this reduction. This consumption is related to productive activities and the relation between energy and other productive inputs. In this work, the effect of energy on economic growth is analysed in nine northern Europe countries between 1990 and 2014, as well as the kind of relation energy has with other factors.

For that, a translog production function is estimated using panel data econometric techniques. From the results of the estimation we calculate the output and marginal elasticities of each productive input, which allow to analyze the relations explained above. In the analysis, two more variables are added to measure the influence of government and regulation in the economic freedom and therefore, in the productive activity.

Results show a positive effect of energy in economic growth, complementarity relation with human capital and substitutability with physical capital. Human capital is the only factor that shows increasing returns. Additionally, results show a strong positive relation between the reduction of government and regulation intervention in economic freedom and economic growth.

KEY WORDS: Translog Function, Economic Growth, Europe, Economic Freedom, Elasticity.

ÍNDICE

RESUMEN	2
1. Introducción	6
2. Metodología	9
3. Datos	12
3.1. <i>Descripción de las variables</i>	14
3.2. <i>Análisis descriptivo de las variables</i>	17
4. Resultados	22
4.1. <i>Resultados de las estimaciones</i>	22
4.2. <i>Cálculo de las elasticidades output</i>	25
4.3. <i>Cálculo de las elasticidades marginales</i>	28
5. Conclusiones	29
Referencias	32

TABLAS

Tabla 1. Índice de desarrollo humano, PIB per cápita y modelo de Estado	14
Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables (1990 – 2014)	18
Tabla 3. Resultados de las estimaciones.....	23
Tabla 4. Elasticidad del producto marginal del factor i con respecto al factor j	28

FIGURAS

Figura 1. Evolución del PIB per cápita y del capital físico per cápita (1990-2014)	19
Figura 2. Evolución del capital humano y del consumo de energía productiva por hora de trabajo (1990-2014).....	20
Figura 3. Evolución de las variables institucionales (1990-2014)	21
Figura 4. Elasticidad del consumo de energía productiva y del capital físico (1990-2014)	26
Figura 5. Elasticidad del capital humano y de la población ocupada (1990-2014).....	27

EFFECTO DE LA ENERGÍA PRODUCTIVA SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN NUEVE PAISES DEL NORTE DE EUROPA: APROXIMACIÓN MEDIANTE UNA FUNCIÓN TRANSLOG.

1. Introducción.

El reciente acuerdo de París de 2015 (UNFCCC 2015), enfatiza la necesidad de que todos los países lleven a cabo medidas para mitigar las emisiones de CO₂. Estas emisiones están especialmente vinculadas al consumo energético. La necesidad de encontrar soluciones a la disminución de ese consumo se focaliza fundamentalmente en dos sectores. Por un lado, se buscan soluciones para reducir el consumo energético en el sector residencial, lo que conlleva el análisis de las causas del crecimiento del consumo residencial y de los efectos del crecimiento de la renta y la urbanización en el consumo energético (Pablo-Romero y Sánchez-Braza, 2017; Tiba y Omri, 2017).

Por otro lado, el consumo energético está vinculado a la actividad productiva. La energía es considerada un factor necesario para la producción. Sin embargo, el factor energético no ha sido incluido habitualmente en los estudios de crecimiento económico ortodoxos (Ayres y Warr, 2009; Ayres et al., 2013; Coers y Sanders, 2013; Cook, 1971; Hall et al., 2001, 2003; Koetse et al., 2008; Lee, 2006; Murphy y Hall, 2010; Stern, 2011). Algunos economistas viene focalizando su atención en la búsqueda de procesos que permitan la sustitución del consumo energético por factores productivos alternativos (Alessandro et al., 2010). Esta cuestión ha promovido un amplio debate en el que los investigadores han puesto su foco de atención sobre la sustituibilidad o complementariedad entre el uso de la energía y otros factores productivos. En este sentido, el estudio pionero fue llevado a cabo por Berndt y Wood (1975), quienes mostraron la complementariedad entre capital físico y energía. No obstante, tras un escaso período de tiempo, Griffin y Gregory (1976) y Pindyck (1979) concluyeron que estos factores eran sustitutivos, al referirse a una muestra de 10 países desarrollados. Posteriores estudios han seguido mostrando resultados contrapuestos. Así, mientras Christopoulos (2000), Lin y Xie (2014), Lin y Zhang (2013), Medina y Vega-Cervera (2001), Thompson y Taylor (1995), Truong (1985), Smyth et al. (2011, 2012) y Wesseh et al. (2013) muestran evidencias a favor de la sustituibilidad de capital y energía, otros

estudios como Anderson (1981), Fuss (1977) y Prywes (1986) ofrecen evidencia sobre la complementariedad entre los factores. Asimismo, estudios recientes muestran comportamientos diferenciados según el país de la muestra (Adetutu, 2014). Por otro lado, Mandal y Madheswaran (2011), así como Mukherjee (2008) demostraron que en las industrias del cemento y manufacturera india, respectivamente, a mayor formación de los empleados, mayor ahorro energético.

Recientemente, estos estudios han sido ampliados, incorporando otros factores productivos y analizando no solo la relación entre factores, sino el diferente efecto de la energía sobre la productividad por regiones. En esta línea, el estudio de Pablo-Romero y Sánchez-Braza (2015) analiza el efecto de la energía productiva en 38 países del mundo en el periodo de 1995 a 2007. Para todos los países de la muestra, la energía contribuye positivamente a la productividad, con claras diferencias en valor entre unos y otros, siendo mayor el efecto en países BRIC y menor en los países de la UE. Mientras que la energía y el capital humano muestran relaciones de sustituibilidad para todos los países, en el caso del capital físico existen diferencias entre ellos. Resultados similares obtienen Dieck-Assad y Peralta (2013), en cuyo trabajo se destaca la energía como elemento clave en el aumento de la productividad en México entre 1965 y 2004. Asimismo, se encuentran diferencias en las relaciones de sustituibilidad y complementariedad de los factores. Asimismo, Sharma (2010) analiza la relación entre distintas variables energéticas y el crecimiento económico en 66 países del mundo, observando resultados diferentes en el efecto del consumo energético en el crecimiento económico dependiendo de la región que se estudie. Un trabajo muy similar es el de Pirlogea y Cicea (2012) en el que se analiza la relación entre el crecimiento económico y el consumo energético en la Unión Europea entre 1990 y 2010, obteniéndose diferentes resultados y diferentes relaciones según el país. El reciente trabajo de Salim et al. (2017) enfatiza el papel del capital humano sobre el ahorro energético en el caso de las provincias chinas. Chambers y Krausse (2008) destacan el efecto negativo en el crecimiento económico derivado de un aumento en la dotación del capital humano con respecto al capital físico.

Basándose en estos estudios previos, en este trabajo se analiza el efecto de la energía en el crecimiento económico y las relaciones de complementariedad o sustituibilidad de este factor respecto al capital físico y humano, en nueve países del norte de Europa, entre 1990 y 2014. Para ello, se utiliza una función translog con 4

factores productivos: energía, trabajo, capital físico y capital humano. Los países incluidos en este análisis son considerados como economías con un nivel de desarrollo humano muy alto y niveles de PIB per cápita por encima de la media europea, como se muestra en la Tabla 1 en el que se muestran datos del informe realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo del año 2015 (UNDP, 2015). Es por ello, que centrar el análisis en estos países es relevante, teniendo en cuenta, por un lado, que el efecto de la energía sobre el crecimiento de la productividad varía en función del grado de desarrollo económico, como se afirma en estudios previos (Pablo-Romero y Sánchez-Braza, 2015) y por otro, que un alto nivel de desarrollo y de renta per cápita puede hacer en principio a los países capaces de disponer de tecnología avanzada.

Estos países difieren, no obstante, en el modelo de Estado del Bienestar. Mientras unos países encajan en el modelo Nórdico, otros se corresponden con el modelo Anglosajón, ambos presentados por Esping-Andersen (1990) y Ferrera (1996). De acuerdo con Doucouliagos y Ulubasoglu (2006) y Kammer et al. (2012), este hecho puede afectar al crecimiento económico. Por ello, en este estudio se introducen en el análisis dos variables que miden el efecto de la intervención del gobierno y la regulación en la libertad económica sobre la productividad (Gwartney y Lawson, 2003). La introducción de estas variables en el análisis del crecimiento económico no es nueva, aunque los resultados de estudios previos no son concluyentes. Mientras Easterly y Rebelo (1993), Justesen (2008) y Pääkkönen (2010) señalan posibles desincentivos derivados de una menor libertad económica, autores como Henning et al. (2011) y Utterback, et al. (1988) señalan que una mayor intervención del gobierno en la libertad económica puede ser positiva para el crecimiento económico. Por otro lado, existe también controversia sobre los efectos de la regulación en el crecimiento económico. Hay quienes afirman que una excesiva regulación puede generar altos costes de transacción y pueden desincentivar la competencia, o incluso propiciar que la actividad económica se realice de una manera informal (Djankov et al., 2005; Jalilian et al., 2006). Sin embargo, otros afirman que la desregularización puede generar efectos negativos sobre el mercado laboral y la organización de relaciones industriales (Calmfors y Driffill, 1988; De Haan et al., 2006; Freeman, 1988) o sobre los mercados financieros (Blau, 2017).

El trabajo se estructura de la siguiente manera. Tras esta introducción, en la segunda sección se presenta la metodología utilizada. En la sección tercera se comentan

y analizan los datos utilizados. En la cuarta sección se muestran los resultados y se discuten. Finalmente, se presentan las conclusiones y se realiza una serie de recomendaciones de políticas.

2. Metodología.

El valor añadido bruto (Y) de una muestra de países a lo largo de un periodo determinado se pueden obtener, de acuerdo con Pablo-Romero y Sánchez-Braza (2015) como la suma de la productividad total de los factores (FTP) y el input total de los factores empleados en la producción. El input total puede a su vez ser determinado por medio de una función translog de los inputs, que puede ser obtenida mediante una aproximación de Taylor de segundo orden (Christensen et al., 1973). Para el caso de cuatro factores (K, E, L y h) esta función se puede expresar de la siguiente manera, en línea con Lin y Ahmad (2016):

$$Y_{it} = FTP_{it} + \beta_l L_{it} + \beta_k K_{it} + \beta_{hhit} + \beta_e E_{it} + \beta_{kl} K_{it} L_{it} + \beta_{kh} K_{it} h_{it} + \beta_{ke} K_{it} E_{it} + \beta_{hl} h_{it} L_{it} + \beta_{he} h_{it} E_{it} + \beta_{le} L_{it} E_{it} + 1/2 \beta_{kk} K_{it}^2 + 1/2 \beta_{hh} h_{it}^2 + 1/2 \beta_{ee} E_{it}^2 + 1/2 \beta_{ll} L_{it}^2 \quad [1]$$

Donde:

Y = Valor añadido bruto de los países de la muestra

FTP = Productividad total de los factores

h = Porcentaje de población ocupada con educación superior

K = Stock de capital físico

E = Consumo de energía productiva

L = Total de horas trabajadas

i = 1, 2, ... 9, representado cada uno de los nueve países de la muestra

t = Años desde 1990 a 2014

$\beta_k, \beta_h, \beta_e, \beta_{kh}, \beta_{ke}, \beta_{he}, \beta_{kk}, \beta_{hh}, \beta_{ee}$ son los parámetros de las funciones que deben ser estimados para hallar la elasticidad del valor añadido respecto a cada factor productivo.

Bajo el supuesto de que la función de producción muestra rendimientos constantes a escala del capital privado, consumo de energía productiva y total de horas empleadas, dado el nivel de capital humano, la función anterior puede expresarse del siguiente modo:

$$y_{it} = FTP_{it} + \beta_k k_{it} + \beta_h h_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_{kh} k_{it} h_{it} + \beta_{ke} k_{it} e_{it} + \beta_{he} h_{it} e_{it} + 1/2 \beta_{kk} k_{it}^2 + 1/2 \beta_{hh} h_{it}^2 + 1/2 \beta_{ee} e_{it}^2 \quad [2]$$

Las variables en minúsculas representan las variables expresadas por hora trabajada, salvo el caso del capital humano.

Adicionalmente, en este trabajo se considera que la FTP depende, entre otros factores, de la intervención del Estado en la actividad económica. Este efecto puede valorarse a partir del efecto de la intervención del gobierno en la libertad económica y de la regulación en la libertad económica. Así, puede definirse la FTP del siguiente modo:

$$FTP_{it} = A_{it} + \beta_{gob} gob_{it} + \beta_{reg} reg_{it} \quad [3]$$

Donde β_{gob} mide el impacto de la intervención del gobierno sobre el FTP y β_{reg} mide el impacto de la intervención de la regulación. Asimismo, A representa el efecto de otros factores productivos no contemplados anteriormente. De esta manera, la productividad puede expresarse del siguiente modo:

$$y_{it} = A_{it} + \beta_k k_{it} + \beta_h h_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_{kh} k_{it} h_{it} + \beta_{ke} k_{it} e_{it} + \beta_{he} h_{it} e_{it} + 1/2 \beta_{kk} k_{it}^2 + 1/2 \beta_{hh} h_{it}^2 + 1/2 \beta_{ee} e_{it}^2 + \beta_{gob} gob_{it} + \beta_{reg} reg_{it} \quad [4]$$

Con el propósito de estimar la función debidamente y evitar problemas de multicolinealidad entre las variables, éstas han sido transformadas en términos de desviaciones respecto a la media aritmética. Esta transformación de las variables se

expresa mediante el uso de las variables en cursivas. La función queda entonces expresada del siguiente modo:

$$y_{it} = A_{it} + \beta_k k_{it} + \beta_h h_{it} + \beta_e e_{it} + \beta_{kh} k_{it} h_{it} + \beta_{ke} k_{it} e_{it} + \beta_{he} h_{it} e_{it} + 1/2 \beta_{kk} k_{it}^2 + 1/2 \beta_{hh} h_{it}^2 + 1/2 \beta_{ee} e_{it}^2 + \beta_{gob} gob_{it} + \beta_{reg} reg_{it} \quad [5]$$

Asimismo, siguiendo a Pablo-Romero y Gómez-Calero (2013) y Pablo-Romero y Sánchez-Braza (2015), la función anterior puede ser convertida en término de primeras diferencias. El uso de primeras diferencias es anotado mediante el símbolo Δ , expresándose la función como sigue:

$$\Delta y_{it} = \Delta A_{it} + \beta_k \Delta k_{it} + \beta_h \Delta h_{it} + \beta_e \Delta e_{it} + \beta_{kh} \Delta k_{it} h_{it} + \beta_{ke} \Delta k_{it} e_{it} + \beta_{he} \Delta h_{it} e_{it} + 1/2 \beta_{kk} \Delta k_{it}^2 + 1/2 \beta_{hh} \Delta h_{it}^2 + 1/2 \beta_{ee} \Delta e_{it}^2 + \beta_{gob} \Delta gob_{it} + \beta_{reg} \Delta reg_{it} \quad [6]$$

Finalmente, se considera que $\Delta A_{it} = \delta_t$, donde δ_t equivale a la suma de los efectos temporales fijos comunes a los nueve países analizados.

Hay que destacar que valores positivos de los coeficientes de productos cruzados de variables indican una relación de complementariedad entre los correspondientes inputs, mientras que valores negativos indican que los factores son sustitutivos. Por otro lado, los coeficientes de los términos cuadráticos indican el signo de los rendimientos a escala, de manera que si el coeficiente es positivo, se presentan rendimientos crecientes a escala y decrecientes en caso de que los coeficientes sean negativos.

A partir de los parámetros de [6], se pueden hallar las elasticidades de la productividad respecto a los distintos factores de producción, para cada año y país, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} EKt_{it} &= \beta_k + \beta_{kh} h_{it} + \beta_{ke} e_{it} + \beta_{kk} k_{it} \\ EEt_{it} &= \beta_e + \beta_{he} h_{it} + \beta_{ke} k_{it} + \beta_{ee} e_{it} \\ Eht_{it} &= \beta_h + \beta_{kh} k_{it} + \beta_{he} e_{it} + \beta_{hh} h_{it} \end{aligned} \quad [7]$$

Donde EK_{it} , EE_{it} y Eh_{it} son las elasticidades correspondientes al capital físico, consumo de energía productiva y capital humano, respectivamente.

Asimismo, dados los supuestos rendimientos a escala constantes en el capital y el empleo, a cierto nivel de capital humano, la elasticidad del empleo puede calcularse de la siguiente manera:

$$EL_{it} = 1 - EK_{it} - EE_{it} \quad [8]$$

Cabe señalar que las elasticidades obtenidas en la función translog no son constantes a lo largo del tiempo ni entre países (como en la Cobb-Douglas), sino que dependen de la dotación de factores productivos que cada país tenga en cada periodo analizado.

A partir de los parámetros estimados, es posible además hallar el valor de cada elasticidad del producto marginal de un factor con respecto a la dotación del mismo factor y a otros. Estas elasticidades marginales pueden ser calculadas a partir de las obtenidas en [7] y [8]. Según De La Fuente (2008), la elasticidad marginal puede hallarse del siguiente modo:

$$EMPI_i = -1 + \varepsilon_i + \beta_{ii}/\varepsilon_i \quad (\text{para el mismo factor } i)$$

$$EMPI_j = \varepsilon_j + \beta_{ij}/\varepsilon_i \quad (\text{para el factor } i \neq j) \quad [9]$$

Donde ε representa la elasticidad media temporal para los factores.

Si la elasticidad marginal presenta un signo positivo, indica que existen relaciones de complementariedad entre los factores, mientras que si es negativo indica sustituibilidad.

3. Datos.

En este trabajo se analizan datos de panel de nueve países europeos entre los años 1990 y 2014. Los países incluidos en este análisis son considerados como economías con un nivel de desarrollo humano muy alto, según el informe realizado por

el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) del año 2015 (UNDP, 2015). El índice de desarrollo humano (IDH) es un índice compuesto por la esperanza de vida, años de escolaridad e ingresos (PIB pc).

Los países de la muestra difieren, no obstante, en el modelo de Estado que presentan. De acuerdo con Esping-Andersen (Esping-Andersen, 1990), existen 3 modelos de Estado distintos en el continente europeo:

- **Anglosajón/Liberal:** Es característico que en la provisión de bienes y servicios relacionados con las políticas de bienestar tenga la primacía el mercado. Además, el Estado del bienestar combina prestaciones que dan una amplia cobertura a la mayoría de la población con otras que incluyen un sistema de comprobación de medios.
- **Continental:** En las naciones cuyo Estado se asemeja a este modelo, los derechos sociales nacen de la actividad laboral, en estos casos los intermediarios entre los trabajadores y el Estado tienen un papel principal. El recurso fundamental de protección social es el Estado.
- **Nórdico/Socialdemócrata:** Característico de una elevada desmercantilización. El mercado tiene menor protagonismo que el Estado, en cuyos asuntos existe una elevada participación por parte de la ciudadanía. Los derechos sociales son derechos de ciudadanía, universales. Una de las principales diferencias con el modelo Continental es la elevada cualificación de su población, gracias en parte, a la gratuidad del sistema educativo.

Posteriormente, Ferrera (1996), añade un nuevo modelo, el Meridional, característico del sur de Europa, y que se caracteriza porque mezcla varios elementos de cada uno de los tres modelos anteriores. Si bien algunas prestaciones son contributivas, como las pensiones de jubilación, de tipo Continental, otras son universales a igual que en el modelo Nórdico, como la sanidad o la educación. También existe en este modelo el requerimiento de una comprobación previa para tener derecho a beneficiarse de ciertas políticas sociales a igual que en el modelo Anglosajón.

La Tabla 1 muestra el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de los países de la muestra correspondientes a los años 2014 y 1990, cuyos datos fueron publicados en el último y el primer informe de desarrollo humano mundial (UNDP, 2015). También se

muestra el PIB por hora de trabajo, expresado en dólares a precios constantes de 2011, en adelante PIB per cápita, obtenido en Feenstra et al. (2015) y se muestra el modelo de Estado que según Esping-Andersen (1990) y Ferrera (1996) presentan los países de la muestra:

Tabla 1. Índice de desarrollo humano, PIB per cápita y modelo de Estado.

País/Región	IDH			PIBpc			Modelo de Estado
	1990	2014	Tasa Variación 1990-2014 (%)	1990	2014	Tasa Variación 1990-2014 (%)	
BEL	0.81	0.89	10.42	35.82	58.11	62.23	Continental
DNK	0.80	0.92	15.52	34.22	62.14	81.60	Nórdico
FIN	0.78	0.88	12.77	28.15	49.23	74.88	Nórdico
GBR	0.77	0.91	17.34	29.53	48.07	62.82	Anglosajón
ISL	0.80	0.90	12.09	23.65	71.98	204.37	Anglosajón
IRL	0.77	0.92	18.96	27.92	38.02	36.19	Anglosajón
NLD	0.83	0.92	11.22	36.99	65.48	77.04	Continental
NOR	0.85	0.94	11.19	39.99	102.79	157.05	Nórdico
SWE	0.82	0.91	11.29	32.45	54.09	66.71	Nórdico
RESTO EUROPA	0.75	0.85	14.69	20.64	39.97	93.65	

Fuente: Elaboración propia a partir de, Esping-Andersen (1990), Feenstra et al. (2015), Ferrera (1996) y United Nations (2014, 1990).

Se puede observar que los países de la muestra presentan unos niveles de IDH y de PIB per cápita superiores tanto en 1990 y 2014, aunque generalmente presentan unas tasas de variación inferiores a la media del resto de Europa, lo cual es característico, en el caso del PIB pc, de una convergencia en los niveles de PIB per cápita entre las regiones más ricas, que crecen menos, y las menos ricas, que crecen más y se acercan a los niveles de los países desarrollados, tal y como se muestra en Azomahou et al. (2011).

3.1. Descripción de las variables.

Los datos del PIB, stock de capital físico y horas de trabajo se han obtenido a partir de la World Penn Database (Feenstra et al. 2015). Los datos del PIB se expresan en términos reales de 2011 en dólares americanos, al igual que el stock de capital físico.

Los datos del capital humano han sido obtenidos a partir de la base de datos EdStats, bases de datos y estadísticas relacionadas con la educación EdStats, del Banco Mundial (World Bank, 2016), los cuales se expresan en porcentaje de población ocupada con educación superior.

Los datos del consumo de energía, expresados en kilogramos equivalentes de petróleo, proceden de la base de datos energéticos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2017), tanto para los países miembros de la IEA (Dinamarca, Bélgica, Finlandia, Irlanda, Países Bajos, Reino Unido, Noruega y Suecia) como para Islandia que no es un país miembro. El consumo de energía puede ser dividido en dos, según el destino de uso, de acuerdo con Pablo-Romero y Sánchez-Braza (2015). Por un lado, el consumo de energía en el proceso productivo y por otro, el consumo de energía doméstico. En este trabajo se utiliza el consumo de energía productiva, calculado como el total del consumo final de energía menos el consumo de energía residencial.

Los datos sobre la intervención directa del gobierno y de la regulación en la libertad económica han sido obtenidos a partir del Fraser Institute. Esta institución desarrolla una serie de indicadores a partir de la definición de Gwartney y Lawson (2003) sobre la libertad económica mencionada en la introducción, elaborando un índice para cada uno de los componentes. Observando los datos correspondientes a nuestra muestra, se escogieron las variables que miden el impacto de la intervención gubernamental en la libertad económica y el impacto de la regulación en la libertad económica, ya que son en las que más diferencias existen entre los países asociados a distintos Modelos de Estado del Bienestar. Estas dos variables fueron elegidas ya que son las que mejor reflejan las diferencias existentes entre los distintos modelos de Estado del Bienestar en la muestra, como se observa en la Tabla 1. Los índices se construyen en una escala 0-10, de manera que 0 indica que no hay libertad económica y la actividad económica está intervenida completamente y 10 indica que no existe ningún tipo de intervención por parte del gobierno, en el caso de la variable gob o por la regulación en el caso de la variable reg.

La variable gob es obtenida directamente a partir del indicador de intervención del gobierno en la libertad económica elaborado por el Fraser Institute (Gwartney y Lawson, 2003), considerando la libertad económica como la libertad de realizar intercambios coordinados por el mercado, la libertad para poder entrar y competir en el

mercado, y la protección de las personas y su propiedad de la agresión de otros. Por tanto, esta variable recoge el tamaño del gobierno y hasta qué punto confían en el proceso político para asignar bienes y servicios. Recoge las siguientes características:

(1) Consumo de las Administraciones Públicas: Si representa un porcentaje elevado del consumo total, la elección política sustituye a la elección personal de compra de bienes y servicios.

(2) Transferencias y Subsidios: Suponen una sustitución de la elección personal de compra de bienes y servicios y al estar financiadas con impuestos, cada individuo pierde la libertad de mantener su riqueza de la forma que considere.

(3) Valor de las empresas públicas y de la inversión pública: Normalmente no presentan el mismo comportamiento que las empresas del sector privado, ya que no dependen completamente de los consumidores o de los inversores para poder permanecer en el mercado, operando normalmente en mercados protegidos o incluso monopolios naturales.

(4) Tasa impositiva marginal más alta: Cuando se aplican altas tasas marginales impositivas a personas con una renta relativamente baja, se impide que pueda disfrutar de los frutos de su trabajo.

De esta forma, aquellos países con una reducida intervención del Sector Público en la libertad económica, presentarán un valor del indicador más alto y viceversa. Por tanto, cuando un país tiene un indicador de valor 0, significa que el gobierno está interviniendo completamente en la actividad económica y cuando presenta un indicador de valor 10, significa que el gobierno no está interviniendo en la libertad económica.

En cuanto a *reg*, es una variable construida a partir del indicador que mide la intervención de la regulación en la libertad económica, de manera que mide la forma por la que la regulación limita la entrada a los mercados e interfiere con la libertad para poder realizar libres intercambios. En este caso, se recogen los siguientes componentes:

(1) Regulación de los mercados de crédito: En este caso se analiza la regulación sobre la propiedad de los bancos, los créditos concedidos al sector privado, así como los controles de los tipos de interés que pueden interferir en

los mercados de créditos. Los países que utilicen un sistema bancario privado, obtendrán una puntuación más alta y viceversa.

(2) Regulación del mercado de trabajo: En este componente se estudia como las regulaciones de este mercado suponen un daño para la libertad económica de los empleados y de los empleadores, de forma que un país debe permitir que las fuerzas del mercado establezcan los salarios y las condiciones de trabajo. Para ello, se analizan las regulaciones en materia de contratación y salarios mínimos, regulaciones de despido, negociaciones entre patronales y sindicatos, la regulación de las jornadas de trabajo y la regulación contra los trabajos forzados.

(3) Regulación de las empresas: La regulación y los procesos burocráticos pueden suponer una restricción a la entrada a los mercados y por tanto, a la competencia. Para ello, se analiza tanto los procesos y costes burocráticos, los límites de las licencias, los pagos extra, sobornos y favoritismos que puedan existir y finalmente los costes impositivos. Para obtener puntuaciones altas, los países deben permitir a los mercados determinar los precios y evitar las regulaciones que retardan la entrada a los mercados y los costes burocráticos que encarecen el precio de los productos, así como evitar las relaciones ilícitas entre los negocios.

Los datos (todos en logaritmos neperianos) están expresados en las siguientes unidades:

- PIB per cápita, expresado en dólares a precios constantes de 2011 por hora de trabajo, en logaritmos neperianos.
- Capital físico per cápita, expresado en dólares a precios constantes de 2011 por hora de trabajo, en logaritmos neperianos.
- Capital humano, porcentaje de población ocupada con educación terciaria.
- Consumo de energía productiva por hora de trabajo, expresado en kilogramos equivalentes de petróleo por habitante.
- Indicador de intervención del gobierno en la libertad económica, en una escala de 0 a 10.
- Indicador de intervención de la regulación en la libertad económica, en una escala de 0 a 10.

3.2. Análisis descriptivo de las variables.

La Tabla 2 presenta la estadística descriptiva de las variables utilizadas para estimar el modelo, donde general se refiere a los datos de toda la muestra, entre grupos a los valores transversales de la muestra (between); e intra grupos a los valores a lo largo del tiempo (within). Como se puede observar, existe una mayor diferencia entre los países de la muestra que dentro de cada país a lo largo del tiempo en todas las variables, salvo reg, ya que la desviación estándar transversal de las variables es mayor que la desviación de cada país a lo largo del tiempo.

Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables (1990-2014).

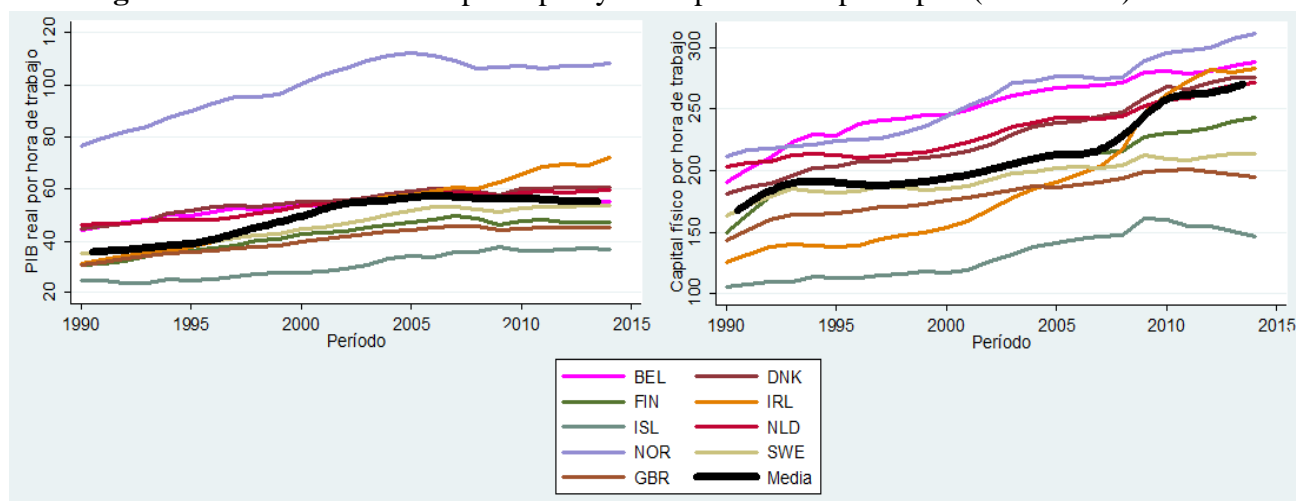
Variable		Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Observaciones
PIB por hora de trabajo (y)	General	52.553	19.662	23.848	112.429	N = 225
	Entre grupos		19.380	30.551	99.658	n = 9
	Intra grupos		7.157	29.263	72.867	T = 25
Capital físico por hora de trabajo (k)	General	207.208	46.910	105.231	310.727	N = 225
	Entre grupos		39.783	131.087	257.291	n = 9
	Intra grupos		28.062	145.692	302.938	T = 25
Capital humano (h)	General	28.605	5.813	17.5	41.5	N = 225
	Entre grupos		2.977	22.912	33.168	n = 9
	Intra grupos		5.087	19.223	40.623	T = 25
Consumo de energía productiva por hora de trabajo (e)	General	3.360	1.099	1.560	6.956	N = 225
	Entre grupos		1.068	1.938	5.098	n = 9
	Intra grupos		0.435	2.090	5.218	T = 25
Intervención del gobierno en la libertad económica (gob)	General	4.519	1.124	2.6	7.06	N = 225
	Entre grupos		1.017	3.159	5.823	n = 9
	Intra grupos		0.582	3.296	6.228	T = 25
Intervención de la regulación en la libertad económica (reg)	General	7.435	0.609	5.92	8.84	N = 225
	Entre grupos		0.389	6.985	8.166	n = 9
	Intra grupos		0.485	6.175	8.737	T = 25

Fuente: Elaboración propia a partir de Feenstra et al. (2015), World Bank (2016), Gwartney y Lawson (2003) e IEA (2017).

En la Figura 1 se muestra la evolución del consumo de energía productiva por hora de trabajo (gráfica derecha) y el PIB por hora de trabajo (gráfica izquierda) de las economías consideradas entre los años 1990 y 2014. Los datos están representados individualmente por países, asignándole un color único a cada uno. Además, aparece el

valor medio de las variables de todos los países para cada año marcado con la línea negra.

Figura 1. Evolución del PIB per cápita y del capital físico per cápita (1990-2014).

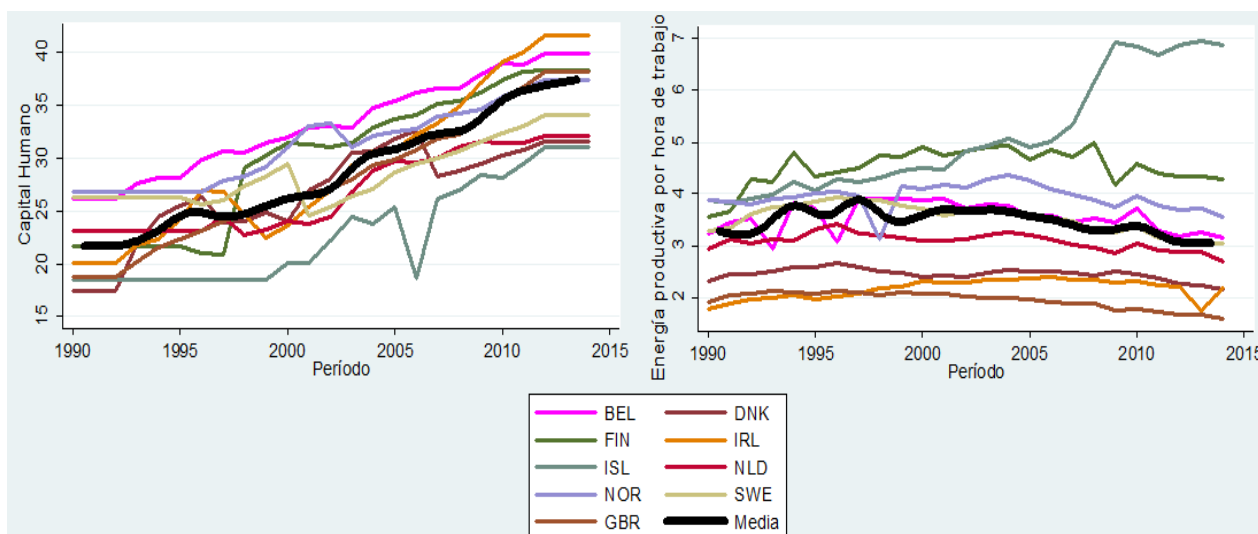


Fuente: Elaboración propia a partir de Feenstra et al. (2015).

En general, se puede observar que no existe una gran diferencia entre los niveles de renta por hora de trabajo de los países de la muestra, salvo en el caso de Noruega que es con una gran diferencia superior al resto, mientras que Islandia es un tanto inferior. La tasa de crecimiento del PIB por hora de trabajo de este conjunto de países en el período de tiempo ha sido positivo y estable, en promedio, del 1,9%. El crecimiento más pronunciado se presenta en Irlanda con el 5,21% y el crecimiento menor lo muestra Bélgica, en torno al 1%.

Respecto al capital físico, se ve un incremento en promedio y en cada uno de los países a lo largo del período. Este incremento es más intenso en Irlanda con un incremento del 125%, de un 5% aproximadamente en términos medios anuales, mientras que Países Bajos e Islandia son los países que menor crecimiento han experimentado en su capital físico por hora de trabajo, siendo del 33% y del 40% respectivamente (1,3% y 1,6% en términos medios anuales). Islandia es el país con menor capital físico por hora de trabajo, mientras que Noruega, Bélgica, Irlanda, Dinamarca y Países Bajos son los que más tienen.

Figura 2. Evolución del capital humano y del consumo de energía productiva por hora de trabajo (1990-2014).

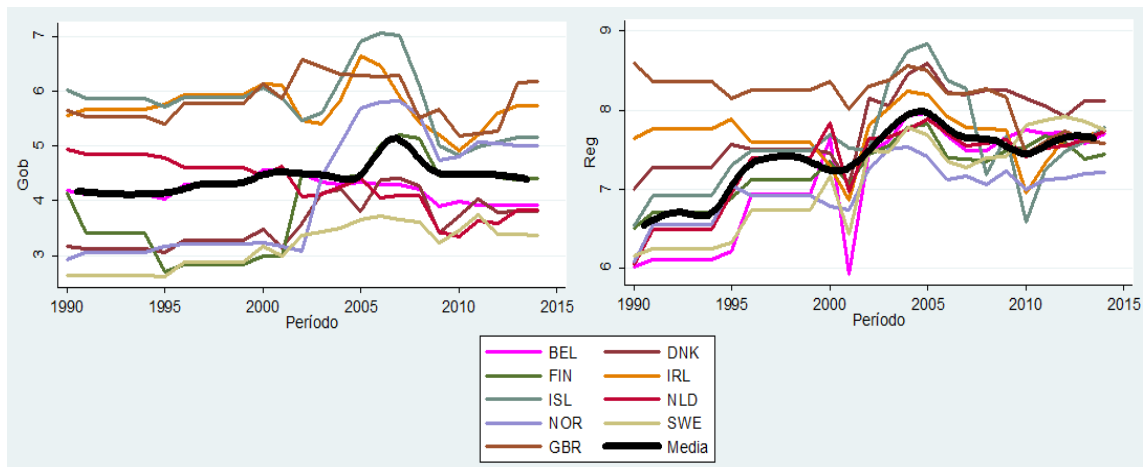


Fuente: Elaboración propia a partir de World Bank (2016) e IEA (2017).

Se puede comprobar que en el caso del capital humano, medido como el porcentaje de población ocupada con educación superior, existe una tendencia global constante creciente, destacando el caso de Irlanda o Reino Unido, que presentan una tasa de crecimiento desde 1990 a 2014 de 106% y 103% respectivamente y una tasa de crecimiento medio anual del 4% para ambas. En el otro caso más extremo se encuentran países como Noruega y Suecia, con unas tasas de crecimiento medio anual del 2% y del 1%, respectivamente. No obstante, hay que destacar que estos países son de los que mayor porcentaje de población ocupada tenía con educación superior en 1990. Hay que destacar la caída en el caso de Islandia, la cual produjo un gran aumento que experimentó el consumo de energía por hora trabajada.

La tendencia de la evolución del consumo de energía productiva por hora de trabajo durante el período es fluctuante hasta principios de la década del 2000, a partir de la cual presenta una tendencia decreciente en general. Esta tendencia no se muestra en Islandia, presentando un aumento del consumo de energía productiva por hora de trabajo, coincidiendo con una caída de la población ocupada provocada por la recesión que golpeó al país en esos años.

Figura 3. Evolución de las variables institucionales (1990-2014).



Fuente: Elaboración propia a partir de Gwartney y Lawson (2003).

En relación a la variable gob, que mide la intervención del gobierno en la libertad económica, se puede observar que en general, los países presentan fluctuaciones, pero su valor final no varía significativamente respecto al del inicio del período. No obstante, hay países que presentan más variaciones, como Noruega, cuya tasa de crecimiento medio es del 3%, siendo el país que ha experimentado una mayor reducción de intervención del Estado en la libertad económica. Asimismo, puede observarse que hay países como Islandia o Países Bajos, que presentan una tasa de decrecimiento medio del 1%, siendo estos países los únicos que presentan un aumento de la intervención del Estado en la libertad económica. Observando el valor del índice desde el inicio del período hasta el año 2001, se puede diferenciar en líneas generales los cuatro modelos de Estado del Bienestar y los países que los conforman. Por un lado, está Suecia, Noruega, Finlandia y Dinamarca, que presentan los valores más bajos, mostrando que esos países se caracterizan por un Estado que interfiere con intensidad en la actividad económica, propio del modelo Nórdico. Por otro lado, están Países Bajos y Bélgica, que se caracterizan por tener un Estado Continental, el cual como bien refleja el indicador y la definición de su modelo, se encuentran en un tramo intermedio entre el Anglosajón y el Nórdico, lo cual coincide con los resultados de Kammer et al. (2012). Finalmente, se aprecia que Islandia, Irlanda y Reino Unido, presentan los índices más altos, los cuales muestran que en esos países el Estado interviene menos en la actividad

económica, propio del modelo Anglosajón. Sin embargo, a partir del año 2001 esta diferencia no es tan clara.

Observando la evolución de la variable *reg*, que mide la intervención de la regulación en la libertad económica, se observa que todos los países presentan una tendencia errática, de forma tal que tienden a converger. El país que más crecimiento experimentó en este indicador y que, por tanto, más ajustó su regulación para que no entorpeciera la actividad de los agentes privados fue Noruega con un incremento del 47% (1,9% de crecimiento medio anual), a igual que con la variable *gob*. Por otro lado, Reino Unido es el único país que presenta una tasa de decrecimiento, siendo del 12% (0.5% en términos medios anuales). Además, Reino Unido es el único país con un valor superior a ocho, mientras que Noruega es el país con un valor más bajo, en torno a siete. El resto de países se encuentra entre siete y ocho. En este caso, es más complicado poder agrupar a los países según su modelo de Estado.

4. Resultados.

4.1. Resultados de las estimaciones.

La Tabla 3 muestra los resultados de las estimaciones de la ecuación [6]. Con el fin de valorar los resultados se añaden además estimaciones de dicha ecuación cuando algunas de las variables son eliminadas. Todas las estimaciones se realizan por el modelo de mínimos cuadrados generalizados factibles en presencia de heterocedasticidad, autocorrelación y dependencia transversal, de acuerdo con los resultados de los test de Wald (Greene, 2000), Woolridge (2002) y Pesaran (2004), respectivamente. Todas las estimaciones incluyen *dummies* temporales.

Tabla 3. Resultados de las estimaciones.

Coefficientes	A	B	C	D	E	F
β_k	0.547*** (-0.0616)	0.554*** (-0.0614)	0.549*** (-0.0606)	0.557*** (-0.0601)	0.521*** (-0.0599)	0.517*** (-0.0592)
β_h	0.0373** (-0.0171)	0.0368** (-0.0169)	0.0378** (-0.0164)	0.0368** (-0.0162)	0.0605** (-0.0243)	0.0624*** (-0.0239)
β_e	0.0243** (-0.0119)	0.0236** (-0.0119)	0.0265** (-0.0114)	0.0259** (-0.0112)	0.0475*** (-0.0146)	0.0484*** (-0.0144)
β_{gob}		0.0216* (-0.0118)		0.0233** (-0.0114)	0.0221** (-0.0111)	0.0233** (-0.0108)
β_{reg}			0.00913*** (-0.00278)	0.00937*** (-0.00276)	0.0107*** (-0.00273)	0.0106*** (-0.00271)
β_{kh}					-0.207* (-0.109)	-0.216** (-0.0984)
β_{he}					0.107** (-0.0462)	0.102** (-0.0447)
β_{ke}					-0.196** (-0.0785)	-0.202** (-0.0787)
β_{kk}					-0.00969 (-0.114)	
β_{hh}					0.162** (-0.0676)	0.167** (-0.065)
β_{ee}					0.0135 (-0.0234)	

Nota: Errores Estándar en paréntesis. * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Fuente: Elaboración propia.

La columna A en la Tabla 3 muestra los resultados de estimar los coeficientes β_k , β_h y β_e , sin términos cuadráticos ni productos cruzados de las variable ni variables institucionales. En esta estimación los coeficientes β_k , β_h y β_e son equivalentes a las elasticidades de la productividad del capital físico, capital humano y consumo de energía productiva, respectivamente. Estas elasticidades son constantes a lo largo de todo el periodo y entre países. Sus valores son significativos y equivalentes a 0.547, 0.0373 y 0.0243, respectivamente. Hay que destacar el signo del parámetro relacionado con el consumo de energía, su valor positivo refleja que la energía es un factor productivo que contribuye al crecimiento de la productividad independientemente del

capital, como se afirma en la literatura. Por tanto, la tesis que sitúa a la energía como un elemento central en el crecimiento de la productividad es corroborada.

Las columnas B y C muestran los resultados de estimar la ecuación [6] de forma similar a A, con la inclusión, de forma separada, de las variables *gob* y *reg* respectivamente. Las elasticidades de los factores productivos obtenidas son muy similares en ambos casos y respecto a las mostradas en la columna A. Los coeficientes de las variables *gob* y *reg*, son positivos y significativos con valores iguales a 0.0216 y 0.00913, respectivamente. En el caso de β_{gob} , indica que reducciones de tamaño del sector público en la economía, generan aumentos de productividad. El valor de β_{reg} indica que las reducciones de tramas burocráticas en la libertad económica, generan aumentos de productividad. En la Columna D se presentan los resultados de la estimación incluyendo las dos variables institucionales juntas. De nuevo, todas las elasticidades son significativas y con un signo y coeficiente parecido al de las estimaciones anteriores.

En la columna E se muestran los resultados de la estimación de la ecuación [6] cuando se incluyen todas las variables, sus productos cruzados y los términos cuadráticos. Para su estimación, se aplica el mismo procedimiento que en los casos anteriores. Todos los coeficientes son significativos, salvo los correspondientes a los términos cuadráticos del capital físico y del consumo energético. El stock de capital físico presenta un coeficiente de 0.517, muy similar a los obtenidos en el resto de estimaciones. El capital humano obtiene un coeficiente de 0.0605, el cual es mayor que en las estimaciones anteriores y el consumo de energía productiva, un coeficiente de 0.0475, que también aumenta respecto a las anteriores estimaciones. Por otro lado, las variables institucionales son significativas y presentan el mismo signo que en el resto de estimaciones en las que se incluyen. La variable *gob* presenta un coeficiente de 0.0233, mientras que la variable *reg* presenta uno de 0.0107. Respecto a los productos cruzados, estos presentan unos coeficientes de -0.207 para el del capital físico y capital humano, lo cual indica que existe una relación de sustituibilidad entre esos dos factores. También se observa sustituibilidad entre el capital físico y la energía productiva, al ser el coeficiente de -0.196 y una relación de complementariedad entre el capital humano y la energía productiva, al ser su coeficiente de 0.107. Finalmente, respecto a los coeficientes de los términos cuadráticos de las variables, sólo es significativo el capital

humano, con un coeficiente de 0.162, lo que indica que existen rendimientos a escala crecientes.

En la columna F se muestran los resultados de la estimación de la ecuación [6], en la que se han excluido las variables que resultan no significativas en la estimación E, siendo todos los coeficientes significativos y con el mismo signo que en el resto de estimaciones. Así, el coeficiente relativo al capital físico es significativo y con un coeficiente de 0.517, el capital humano presenta un valor de 0.0624 y la energía productiva presenta un coeficiente de 0.0484. Estos coeficientes representan la elasticidad de la productividad respecto a los inputs considerados en el punto central de la muestra. Los resultados de la estimación muestran, asimismo, que los coeficientes de los productos cruzados son significativos y presentan unos valores de -0.216, 0.102 y -0.202 para los coeficientes β_{kh} , β_{he} y β_{ke} respectivamente. Los coeficientes β_{kh} y β_{ke} muestran relaciones de sustituibilidad entre el capital físico y el capital humano y entre el capital físico y el consumo de energía productiva. Sin embargo, β_{ke} muestra una relación de complementariedad entre el capital humano y la energía productiva. Además, los coeficientes de los términos cuadráticos de las variables son significativos únicamente para el capital humano. Dado su valor positivo, indica la existencia de rendimientos crecientes a escala en el capital humano. Si se observan los coeficientes de las variables institucionales (β_{gob} y β_{reg}), éstos son positivos.

4.2. Cálculo de las elasticidades output.

A partir de las estimaciones anteriores pueden calcularse las elasticidades de la productividad respecto a los factores productivos. Estas elasticidades no son constantes a lo largo del tiempo ni entre los países, en línea con Adetutu (2014). Su cálculo se realiza a partir de [7] utilizando los coeficientes estimados presentados en la columna E, al tenerse en cuenta todas las variables consideradas. En concreto sus valores se calculan del siguiente modo:

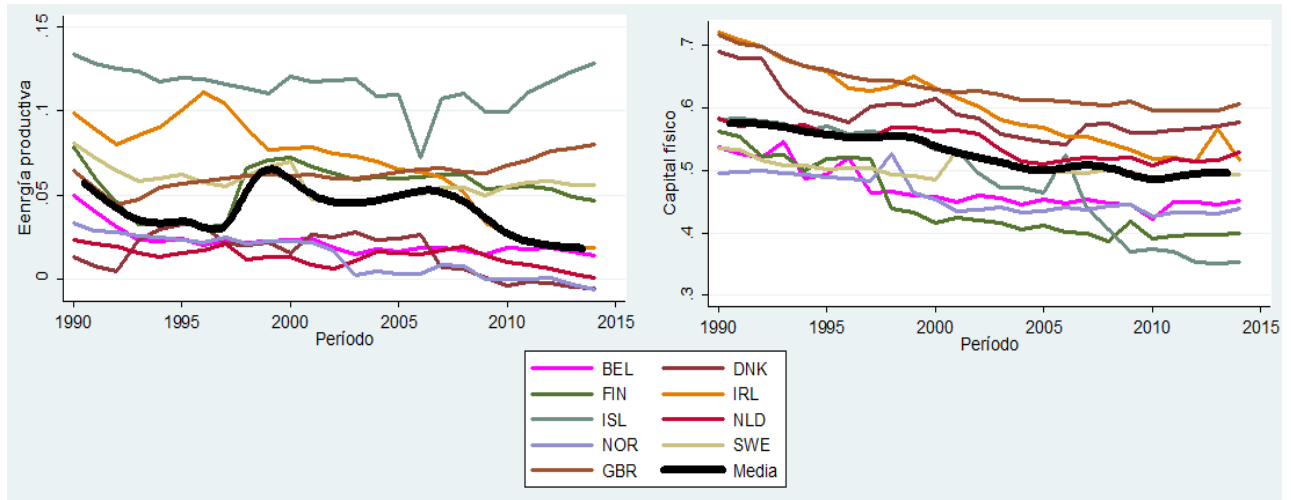
$$EK_{tit} = 0.52 - 0.21 hit - 0.2 eit - 0.01 kit$$

$$EE_{tit} = 0.05 + 0.11 hit - 0.2 kit + 0.01 eit$$

$$Eht_{tit} = 0.06 - 0.21 kit + 0.11 eit + 0.16 hit$$

$$ELit = 0.43 + 0.2 eit + 0.21 kit$$

Figura 4. Elasticidad del consumo de energía productiva y del capital físico (1990-2014).

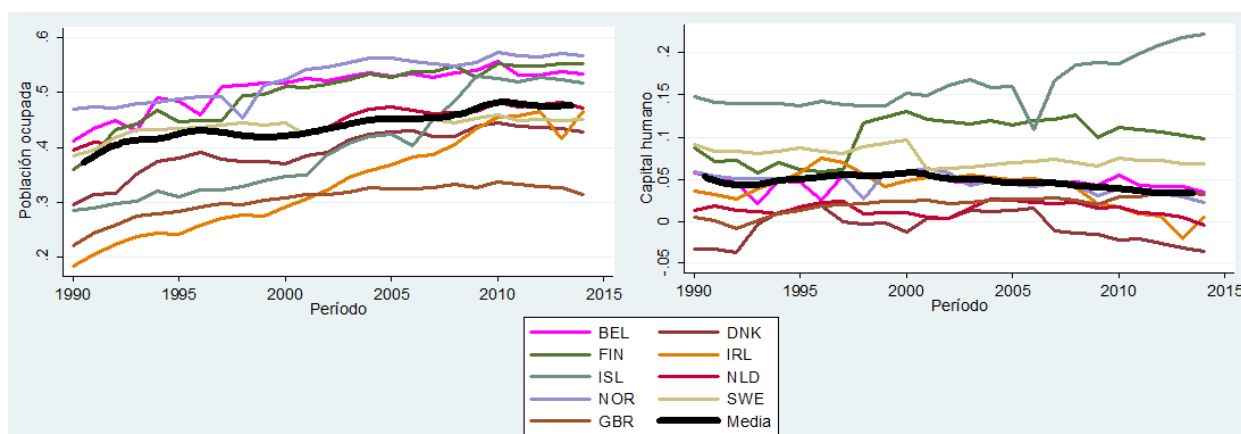


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la izquierda en la Figura 4, se muestra la evolución de la elasticidad de la productividad respecto al consumo de energía para los países de la muestra a lo largo del período. La tendencia agregada fluctúa, se puede observar que los valores fluctúan entre 0.15 y valores inferiores a 0. Islandia, que es el país con mayor consumo energético y menor capital físico, presenta los valores más altos, en torno a 0.1. Noruega, Dinamarca, Bélgica y Países Bajos, los cuales son los países con mayor capital físico, presentan valores negativos en los últimos años.

El gráfico derecho de la Figura 4 muestra la evolución de la elasticidad de la productividad respecto al capital físico. La tendencia global es más uniforme, con valores medios que fluctúan entre 0.5 y 0.6. Irlanda, Dinamarca, dos de los que más capital físico presentan, y Reino Unido, el país con menor consumo energético, son los países que presentan mayores valores. Islandia y Finlandia son los países con menores elasticidades, llegando a presentar valores inferiores a 0.4 en los últimos años. Estos países son los que mayor consumo de energía productiva presentan.

Figura 5. Elasticidad del capital humano y de la población ocupada (1990-2014).



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico izquierdo de la Figura 5 muestra la evolución de la elasticidad respecto al factor trabajo. En general, presenta una tendencia creciente y positiva para todos los años en todos los países, destacando el crecimiento que muestran Irlanda e Islandia. Los valores más altos se encuentran en Noruega, Bélgica, Finlandia e Islandia. Siendo los dos primeros los que mayor stock de capital físico tienen y los dos últimos los que mayor consumo energético presentan. Estos países alcanzan valores superiores a 0.5, mientras que los valores más bajos se encuentran en Reino Unido, que presentan un bajo stock de capital alcanzando valores en torno a 0.3.

Por último, el gráfico derecho de la Figura 5 muestra la elasticidad productiva del capital humano. La tendencia media es ligeramente decreciente, con valores en torno a 0.05. Finlandia e Islandia, que son los valores con mayor consumo energético, son los dos países con mayores valores, superiores a 0.1. Islandia es el país con mayores valores. En el resto de países no se supera el valor 0.1. Irlanda, Dinamarca, Países Bajos y Reino Unido son los países que presentan valores más inferiores. Estos países se caracterizan por ser los que menor consumo energético realizan, además Irlanda Países Bajos y Dinamarca son tres de los cuatro países con mayor capital físico. Dinamarca presenta valores negativos algunos años.

4.3. Cálculo de las elasticidades marginales.

A partir de las elasticidades calculadas anteriormente, y los parámetros estimados y mostrados en la columna E de la Tabla 3, se calculan las elasticidades del producto marginal del factor i con respecto al factor j calculados mediante el método que se aplica en De La Fuente (2008).

Tabla 4. Elasticidad del producto marginal del factor i con respecto al factor j .

	Elasticidad del producto marginal de:		
	k	h	e
Con respecto a:			
k	-0.4930709	-0.8522871	-0.7759056
h	-0.3533012	0.1823802	0.7713967
e	-0.3423329	0.816787	-0.8882269

Fuente: Elaboración propia.

Las elasticidades marginales de los factores productivos son negativas tanto en el caso del capital físico con respecto a sí mismo, como del consumo de energía productiva con respecto a sí mismo, siendo más intensa la relación en este caso. Por el contrario, el capital humano presenta una elasticidad marginal positiva. Esto refleja, que *ceteris paribus*, el producto marginal de cada factor es decreciente de forma notable respecto a su dotación para los inputs capital físico y consumo de energía productiva y creciente con respecto a su dotación en el caso del capital humano, lo que no sería consistente con la especificación Minceriana de la función de producción habitual en la literatura previa.

Por otro lado, en relación con las elasticidades cruzadas, se observa un distinto comportamiento en función de las variables. En el caso del capital físico, presenta una elasticidad marginal negativa con respecto al capital humano y al consumo de energía productiva, de lo que se interpreta la existencia de relaciones de sustituibilidad. En el caso del capital humano, presenta una elasticidad marginal intensamente negativa con respecto al capital físico y una elasticidad marginal positiva con respecto al consumo de energía productiva, lo que indica relaciones de sustituibilidad y complementariedad, respectivamente. Finalmente, para la energía productiva, presenta una relación de sustituibilidad elevada con respecto al capital físico y de complementariedad con el capital humano, lo cual significa que un aumento de la dotación de uno de los dos

factores genera un aumento en la productividad marginal del otro. La relación más fuerte se encuentra en el caso del capital humano con respecto al capital físico.

5. Conclusiones.

En este trabajo se analiza el efecto de la energía sobre el crecimiento económico en nueve países de Europa en el periodo de 1990-2014. Para ello, se estima mediante datos de panel una función translog en la que se incluye el consumo de energía productiva, el stock de capital, el capital humano y el trabajo como variables productivas. Asimismo, se incluyen como variables adicionales al modelo dos variables institucionales asociadas al grado de libertad económica.

Los resultados muestran un efecto positivo del consumo de energía productiva sobre el crecimiento económico. La elasticidad en el punto central de la muestra es no obstante reducida, pues el coeficiente estimado tiene un valor de 0.0475. Los resultados muestran asimismo que la elasticidad en el punto central de la muestra del capital físico es significativo e igual a 0.521 y del capital humano de 0.0605. Adicionalmente, los resultados de la estimación muestran que los coeficientes de los productos cruzados son significativos pero con signos diferentes. Así se muestran relaciones de sustituibilidad entre el capital físico y el capital humano y entre el capital físico y el consumo de energía productiva. Sin embargo, se muestra una relación de complementariedad entre el capital humano y la energía productiva. Además, el coeficiente positivo y significativo del cuadrado del capital humano indica la existencia de rendimientos crecientes a escala en el capital humano.

Asimismo, se han obtenido las elasticidades output, que difieren entre países y a lo largo del tiempo. En el caso de la elasticidad output del capital físico, destacan los valores elevados en Dinamarca, Irlanda y Reino Unido, los dos primeros con un stock de capital físico más elevado y siendo Reino Unido el que presenta menor consumo de energía productiva. Respecto a la elasticidad output de la energía productiva, destacan los valores elevados de Islandia, país con mayor consumo energético y los bajos valores de Noruega, Dinamarca, Bélgica y Países Bajos, los países con mayores valores de capital físico. La elasticidad output del capital humano presenta valores muy elevados en Islandia, país con stock de capital más bajo y consumo energético productivo más

elevado, seguido de Finlandia, segundo país con menor stock de capital y de los que más consumo energético presenta. Por otro lado, Dinamarca, Noruega, Bélgica y Países Bajos, los cuales presentan altos valores de capital físico, son los que menores valores presentan en la elasticidad del factor energético, llegando a ser negativos a partir de 2010. Además, se ha obtenido la elasticidad output del factor trabajo, en la cual hay que destacar los elevados valores para Bélgica, Noruega y Países Bajos, los cuales presentan elevados valores de capital físico y capital humano, mientras que los valores más inferiores corresponden a Islandia y Reino Unido, los cuales se caracterizan por presentar valores más inferiores de capital físico.

Adicionalmente, en este trabajo se muestra el valor de las elasticidades marginales de cada uno de los factores con respecto a los otros. Solamente el capital humano muestra rendimientos crecientes en su productividad. Respecto a la relación entre factores, se aprecian relaciones de sustituibilidad entre el capital físico y humano y entre el consumo de energía y el capital físico. Así, por un lado, los aumentos en el stock de capital reemplazan la productividad de la mano de obra con educación superior, hasta cierto punto, y viceversa. Por otro lado, dado que la elasticidad marginal del capital físico con respecto al consumo energético productivo y viceversa muestra también una relación de sustituibilidad, es indicador de que aumentos en el stock de capital físico son capaces de sustituir la productividad del factor energético, lo que puede generar un descenso del consumo energético. Finalmente, la relación de complementariedad del capital humano con respecto al consumo de energía productiva y viceversa, muestra que a mayor formación de las personas, mayores aumentos de productividad se generarán en el consumo energético productivo y por tanto, se producirán mejoras de eficiencia energética.

Las diferentes relaciones que presentan los factores productivos complican la recomendación de políticas. No existe una receta única para el éxito en el crecimiento en los países de esta muestra. Si aquellos que presentan un elevado stock de capital físico, ven aumentados sus niveles de capital humano, se generará una disminución en la productividad marginal del capital físico, así como un aumento de la productividad del consumo de energía productiva y del propio capital humano al haber rendimientos crecientes. Sin embargo, para aquellos países que presentan un nivel bajo de stock de capital con respecto a otros países, un aumento de este factor puede ser positivo para ellos ya que con ello se genera reducción del consumo energético, a costa de ver

reducida la productividad del capital humano y del propio capital físico al haber rendimientos decrecientes. Por otro lado, aquellos países con un elevado consumo energético pueden verse favorecidos por un aumento en el stock de capital físico, ya que se generarán reducciones de eficiencia energética y aumentos en la productividad del factor trabajo. Todas las políticas que se tomen deben ser complementadas por aumentos en el capital humano, debido a que es el único factor que presenta rendimientos crecientes y presenta relaciones de complementariedad con el consumo de energía productiva, por lo que se podrían compensar los efectos negativos en la productividad de estos factores provocadas por un aumento en la dotación de capital físico.

Referencias.

- Adetutu, M., (2014). Energy efficiency and capital-energy substitutability: Evidence from four OPEC countries. *Applied Energy*, 119, 363-370.
- Alessandro, D.S., Luzzati, T., Morroni, M., (2010). Energy transition towards economic and environmental sustainability: feasible path and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 18, 291-298.
- Anderson, R., (1981). Conditional factor demand functions. In: Berndt, E., Field, B. (Eds.), *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*. MIT Press, Cambridge, MA, 119-144.
- Ayres, R.U., van den Bergh, J., Lindenberger, D., Warr, B., (2013). The underestimated contribution of energy to economic growth. INSEAD Faculty & Research Working Paper. INSEAD Social Innovation Centre, Europe Campus, Fontainebleau Cedex (France).
- Ayres, R.U., Warr, B., (2009). *The economic growth engine: How energy and work drive material prosperity*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).
- Azomahou, T.T., El ouardighi, J., Nguyen-Van, P., Cuong Pham, T.K., (2011). Testing convergence of European regions: A semiparametric approach. *Economic Modelling*, 28, 1202-1210.
- Berndt, E.R., Wood, D.O., (1975). Technology, prices, and the derived demand for energy. *The Review of Economics and Statistics*, 57, 259-268.
- Blau B.M., (2017). Economic freedom and crashes in financial markets. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 47, 33-46.
- Calmfors, L., Driffill, J., (1988). Bargaining structures, corporatism and macroeconomic performance. *Economic Policy*, 3, 13-61.

- Chambers, D., Krause A., (2010). Is the relationship between inequality and growth affected by physical and human capital accumulation? *The Journal of Economic Inequality*, 8 (2), 153-172.
- Christensen, L., Jorgenson, D., Lau, L., (1973). Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, 55, 28-45.
- Christopoulos, D.K., (2000). The demand for energy in Greek manufacturing. *Energy Economics*, 22, 569-586.
- Coers, R., Sanders, M., (2013). The energy-GDP nexus; addressing an old question with new methods. *Energy Economics*, 36, 708-715.
- Cook, E. (1971). The flow of energy in an industrial society. *Scientific American*, 225 (3), 135-144.
- De Haan, J., Lundström, S., Sturm, J.E., (2006). Market-oriented institutions and policies and economic growth: a critical survey. *Journal of Economic Surveys*, 20, 157-191.
- De La Fuente, A., (2008). Una función de producción translog para las regiones españolas: Nota preliminares, Documentos de Trabajo D-2008-06. Dirección General de presupuestos. Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- Dieck-Assad, F. A., Peralta, E., (2013), Energy and Capital Inputs: Cornerstones of Productivity Growth in Mexico: 1965-2004. *Empirical Economics*, 44, 563-590.
- Djankov, S., McLiesh, C., Ramalho, R., (2005). Regulation and growth. The World Bank, Washington D.C.
- Doucouliafos, C., Ulubasoglu, M.A., (2006). Economic freedom and economic growth: Does specification make a difference? *European Journal of Political Economy*, 22, 60-81.
- Easterly, W., Rebelo, S., (1993). Fiscal policy and economic growth. An empirical investigation. *Journal of Monetary Economics*, 32, 417-458.

- Esping-Andersen, G., (1990). *The three worlds of welfare capitalism*. John Wiley and Sons.
- Feenstra, R.C., Inklaar, R., Timmer, M.P., (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105 (10), 3150-3182.
- Ferrera, M., (1996). The 'Southern Model' of Welfare in Social Europe. *Journal of European Social Policy*, 6 (1), 17-37.
- Freeman, R., (1988). Labour market institutions and economic performance. *Economic Policy*, 3, 63-80.
- Fuss, M.A., (1977). The demand for energy in Canadian manufacturing: an example of the estimation of production structures with many inputs. *Journal of Econometrics*, 5, 89-116.
- Greene, W., (2000). *Econometric Analysis*. New York: Prentice-Hall.
- Griffin, J.M., Gregory, P.R., (1976). An inter-country trans-log model of energy substitution responses. *American Economic Review*, 66, 845-857.
- Gwartney, J.D., Lawson, R., (2003). The concept and measurement of economic freedom. *European Journal of Political Economy*, 19, 405-430.
- Hall, C., Lindenberger, D., Kümmel, R., Kroeger, T., Eichhorn, W., (2001). The need to reintegrate the natural sciences with economics. *Bioscience*, 51 (8), 663-673.
- Hall, C., Tharakan, P., Hallock, J., Cleveland, C., Jefferson, M., (2003). Hydrocarbons and the evolution of human culture. *Nature*, 426, 318-322.
- Henning, M., Enflo, K., Anderson, F.N.G., (2011). Trends and cycles in regional economic growth How spatial differences shaped the Swedish growth experience from 1860–2009. *Explorations in Economic History*, 48, 538-555
- IEA. (2017). *Balances Energéticos*. Agencia Internacional de la Energía; 2017. <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch> [último acceso 06.07.17].

- Jalilian, H., Kirkpatrick, C., Parker, D., (2006). The Impact of Regulation on Economic Growth in Developing Countries: A Cross-Country Analysis. *World Development*, 35 (1), 87-103.
- Justesen M.K., (2008). The effect of economic freedom on growth revisited: New evidence on causality from a panel of countries 1970–1999. *European Journal of Political Economy*, 24, 642-660.
- Kammer, A., Niehues, J., Peichl, A., (2012). Welfare regimes and welfare state outcomes in Europe. *Journal of European Social Policy*, 22 (5), 455-471.
- Koetse, M.J., de Groot, H.L.F., Florax, R.J.G.M., (2008). Capital-energy substitution and shifts in factor demand: A meta-analysis. *Energy Economics*, 30 (5), 2236-2251.
- Lee, C.C., (2006). The causality relationship between energy consumption and GDP in G-7 countries revisited. *Energy Policy*, 34 (9), 1086-1093.
- Lin, B., Ahmad, A., (2016). Technical change, inter-factor and inter-fuel substitution possibilities in Pakistan: a trans-log production function approach. *Journal of Cleaner Production*, 126, 537-549.
- Lin, B., Ouyang, X., (2014). Electricity demand and conservation potential in Chinese nonmetallic mineral product industry. *Energy Policy*, 68, 243-253.
- Lin, B., Zhang, G.L., (2013). Estimates of electricity saving potential in Chinese nonferrous metals industry. *Energy Policy*, 60, 558-568.
- Mandal, S.K., Madheswaran, S., (2012). Energy use efficiency of Indian cement companies: a data envelopment analysis. *Energy Efficiency*, 4 (1), 57-73.
- Medina, J., Vega-Cervera, J.A., (2001). Energy and the non-energy inputs substitution: evidence for Italy, Portugal and Spain. *Applied Energy*, 68, 203-214.
- Mukherjee, K., (2008). Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector: an interstate analysis. *Energy Policy*, 36 (2), 662-672.
- Murphy, D.J., Hall, C.A.S., (2010). Year in review-EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1185, 102-118.

- Pääkkönen, J., (2010). Economic freedom as driver of growth in transition. *Economic Systems*, 34, 469-479.
- Pablo-Romero, M. P., Gómez-Calero, María de la P., (2013). A translog production function for the Spanish provinces: Impact of the human and physical capital in economic growth. *Economic Modelling*, 32, 77-87.
- Pablo-Romero, M. P., Gómez-Calero, María de la P., Cerro Gutiérrez, G., (2014). Elasticidad del producto marginal de los factores productivos para las provincias españolas. Estimación a partir de una función translog. *Investigaciones Regionales*, 28, 125-144.
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez Braza, A., (2015). Productive energy use and economic growth: Energy, physical and human capital relationships. *Energy Economics*, 49, 420-429.
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez-Braza, A., (2017). Residential energy environmental Kuznets curve in the EU-28. *Energy*, 125, 44-54.
- Pesaran, M. H., (2004). General diagnostic tests for cross section dependence in panels. Cambridge Working Papers WP0435, Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Pindyck, R.S., (1979). International substitution and industrial demand for energy: an international comparison. *The Review of Economics and Statistics*, 61, 169-179.
- Pirlogea, C., Cicea, C., (2012). Econometric perspective of the energy consumption and economic growth relation in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 5718–5726.
- Prywes, M., (1986). A nested CES approach to capital-energy substitution. *Energy Economics*, 8, 22-28.
- Salim, R., Yao, Y., Chen, G., (2017). Does human capital matter for energy consumption in China? *Energy Economics*. Forthcoming
- Sharma, S.S., (2010). The relationship between energy and economic growth: Empirical evidence from 66 countries. *Applied Energy*, 87 (11), 3565-3574.

- Smyth, R., Narayan, P.K., Shi, H., (2011). Substitution between energy and classical factor inputs in the Chinese steel sector. *Applied Energy*, 88, 361-367.
- Smyth, R., Narayan, P.K., Shi, H., (2012). Inter-fuel substitution between energy and classical factor inputs in the Chinese steel sector. *International Journal of Production Economics*, 139, 525-532.
- Stern, D.I., (2011). The role of energy in economic growth. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1219, 26-51.
- Thompson, P., Taylor, T.G., (1995). The capital energy substitutability debate: a new look. *The Review of Economics and Statistics*, 77, 565-569
- Tiba, S., Omri, A., (2017). Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1129-1146.
- Truong, T.P., (1985). Inter-fuel and inter-factor substitution in NSW manufacturing industry. *Economic Record*, 61, 644-653.
- UNDP, (2015). *Human Development Report 2015. Work for Human development.* UNDP, New York.
- UNFCCC. (2015). *Adoption of the Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session.* Reference: C.N.735.2016.TREATIES-XXVII.7.
- Utterback, J.M., Meyer, M., Roberts, E., Reitberger, G., (1988). Technology and industrial innovation in Sweden: A study of technology-based firms formed between 1965 and 1980. *Research Policy*, 17, 15-26.
- Wesseh Jr., P.K., Lin, B., Appiah, M.O., (2013). Delving into Liberia's energy economy: technical change, inter-factor and inter-fuel substitution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 122-130.
- Wooldridge, J. M., (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data.* Cambridge, MA: MIT Press

World Bank. (2016). World Bank Education Statistics (EdStats). The World Bank, Washington D.C. <https://data.worldbank.org/data-catalog/ed-stats> [último acceso 06.07.17].