

EL TRIMESTRE ECONÓMICO, vol. LXXXIV (3), núm. 335, julio-septiembre de 2017, pp. 571-609

Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas*

Renewable Energy and Economic Development. An Analysis for Spain and the Biggest European Economies

*María Ángeles Caraballo Pou
y Juana María García Simón***

ABSTRACT

Background: This paper assesses the sustainability of the Spanish economic development model for the period 1980-2010. Moreover, we carry out a comparative analysis with the biggest European economies: France, Germany, Italy and United Kingdom.

Methods: In order to achieve the aim of this paper, co-integration techniques have been applied. Through these techniques, we have analyzed the long-term relationship between consumption of renewable and non-renewable and economic development and pollution during the period 1980-2010. After a selection process, for Spain we have used to measure growth the GDP and the Gross Capital Formation; to measure development, the Index of Human Development and Social Capital; for pollution, the emissions of CO₂ and consumption of renewable energy in the electricity system and oil consumption for the consumption of renewable and non-renewable, respectively. Secondly, we have compared the results obtained for the Spanish economy with the four biggest economies in the European Union: Germany, France, Italy and the United Kingdom. Given

* Artículo recibido el 26 de enero de 2016 y aceptado el 30 de septiembre de 2016. Los autores agradecen los comentarios de los dictaminadores anónimos de *El Trimestre Económico* que han ayudado a mejorar el trabajo. Cualquier error que pudiese persistir en el mismo es exclusiva responsabilidad de los autores. María Ángeles Caraballo reconoce y aprecia el apoyo financiero proporcionado por el Grupo de Investigación Research in Applied Economics (SEJ258, Plan Andaluz de Investigación).

** Departamento de Economía e Historia Económica de la Universidad de Sevilla (correo electrónico: mcaraba@us.es). Gabinete de Análisis Macroeconómico, Junta de Andalucía (correo electrónico: juanam.garcia.simon@juntadeandalucia.es).

the availability of data for these countries Gross Capital Formation and Human Development Index have been excluded from the analysis.

Results: First, a positive impact of consumption of renewable and renewable energy on growth and development is found for the five countries under study, with a greater impact of non-renewable energy. For the three countries for which the data for CO₂ emissions are available (Spain, France and the UK), it is observed that the reducing effect of renewable energy on CO₂ emissions is less than the polluting effect of non-renewable energy. Second, for Spain, Germany and France, the data point out a feedback process between the consumption of non-renewable and growth and development, which is not observed with the consumption of renewable energy.

Conclusions: In order to reconcile the objective of growth with the reduction of pollution, more moderate growth rates are required. The growth model of the countries analyzed stimulates consumption of non-renewable energy, but not renewable. This result points out the requirement of designing policies that encourage the substitution of non-renewable energy by renewable energy.

Key words: sustainability, economic development, renewable energy, non-renewable energy. *JEL Classification:* O44, Q43.

RESUMEN

Antecedentes: Este trabajo evalúa la sostenibilidad del modelo de desarrollo económico español en el periodo 1980-2010. Asimismo, realiza un análisis comparativo con las grandes economías europeas: Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.

Metodología: Para alcanzar el objetivo del trabajo se han empleado técnicas de cointegración. Mediante estas técnicas se analiza la relación a largo plazo del consumo de energías renovables y no renovables con el desarrollo económico y la contaminación en el periodo 1980-2010. Tras un proceso de selección de variables, para España se ha utilizado el Producto Interno Bruto (PIB) y la Formación Bruta de Capital, para medir el crecimiento, el Índice de Desarrollo Humano y el Capital Social, para el desarrollo, las emisiones de CO₂ para la contaminación, el consumo de energía renovable en el sistema eléctrico y el consumo de petróleo para el consumo de energía renovable y no renovable, respectivamente. En segundo lugar, se han comparado los resultados obtenidos para la economía española con las cuatro economías más grandes de la Unión Europea: Alemania, Francia, Italia y Reino Unido. Dada la disponibilidad de datos, para estos países se ha excluido del análisis la Formación Bruta de Capital y el Índice de Desarrollo Humano.

Resultados: En primer lugar, para los cinco países analizados se comprueba un impacto positivo del consumo de energía renovable y no renovable sobre el crecimiento y el desarrollo, con un impacto mayor de las energías no renovables. Para los tres países en los que se han incluido las emisiones de CO₂ (España, Francia y Reino Unido), el efecto reductor de las renovables sobre las emisiones de CO₂ es menor que el efecto contaminante de las no renovables. En segundo lugar, para España, Alemania y Francia se aprecia un proceso de retroalimentación entre el consumo de no renovables, el crecimiento y el desarrollo, que no se observa con el consumo de energía renovable.

Conclusiones: Para conciliar el objetivo de crecimiento con el de reducción de la contaminación se precisan tasas de crecimiento más moderadas. El modelo de crecimiento de los países analizados estimula el consumo de energía no renovable, pero no el de las renovables. Esto apunta hacia la necesidad de diseñar políticas que estimulen la sustitución de energía no renovable por renovable.

Palabras clave: sostenibilidad, desarrollo económico, energía renovable, energía no renovable. *Clasificación JEL:* O44, Q43.

INTRODUCCIÓN

La amenaza del cambio climático y la dependencia de las importaciones energéticas, junto al carácter agotable de los combustibles fósiles, han incentivado a muchos países a buscar alternativas a las fuentes de energía convencionales y se han incrementado las inversiones en fuentes de energía renovables con el fin de reducir las emisiones de gases efecto invernadero y aumentar la oferta de un tipo de energía segura.

En este sentido, España es uno de los países que ha protagonizado la apuesta por las energías renovables. De hecho, en la década de 2000, su consumo de energía renovable aumentó en 120.8%, frente a 76.8% del conjunto de la Unión Europea (UE), incluso en el año 2007 se posicionó como el segundo país del mundo —detrás de los Estados Unidos— en el *ranking* elaborado por Ernst & Young de los mejores países para invertir en energías renovables. Además, España es uno de los países líderes en el desarrollo de tecnología para la generación de electricidad a partir de fuentes de energía renovables, consecuencia de los diversos impulsos de política económica realizados principalmente desde 2007.¹ De hecho, si atendemos a la producción de

¹ La legislación más relevante impulsada por el gobierno español en materia de política energética aparece en el apéndice. En éste se muestran también los principales hitos legislativos que han marcado las líneas de actuación en la UE.

electricidad a partir de energías renovables (excluyendo la hidroeléctrica) en relación con el total, los datos del Banco Mundial apuntan que en el periodo comprendido entre 1991 y 2013 a nivel mundial, europeo y español, pasó de 1.03, 0.76, 0.36 a 5.37, 14.98 y 25.74%, respectivamente. Todo ello en un contexto de intensificación de la dependencia energética que para España se sitúa en 72.9% en 2014 según la Oficina Europea de Estadística (Eurostat), muy superior a la media de la UE (53.5%), y habiéndose incrementado en casi 10 puntos desde 1990 (primer año para el que se tiene información). Asimismo, desde un punto de vista macroeconómico, la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) estima una aportación del sector de las energías renovables al Producto Interno Bruto (PIB) español de 7 381 000 euros en 2014, lo que supone 0.7% del PIB, una contribución fiscal neta de 970 000 de euros, una mejora del saldo de la balanza comercial con unas exportaciones netas de 2 316 000 de euros y una apuesta por la innovación con inversiones en I+D+i que duplican la media de la UE y triplican la media de las empresas españolas.

Este liderazgo e importancia de España en el impulso de las energías renovables apoyado desde el sector público, hace que sea un caso de interés para analizar la sostenibilidad a largo plazo del modelo económico de ese país. Concretamente, surgen dos cuestiones que pretendemos responder en este artículo. Por una parte, cómo afectará la sustitución de las energías no renovables por las renovables al desarrollo económico, es decir, si llevará a crecer a tasas más bajas y, por otra, si el desarrollo económico a su vez puede estimular el uso de las energías renovables, permitiendo la retirada paulatina del apoyo público que hasta ahora han necesitado las energías renovables.

Tras el análisis de la economía española en relación con estos dos puntos, se comparan los resultados con los obtenidos para las grandes economías de la UE: Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.² Estos países, junto con España, suponen aproximadamente 70% del PIB de la UE. Además, cabe destacar que, excepto Francia, estos son países cuyo consumo de energía renovable en la década de 2000 ha crecido significativamente por encima del de la UE (Alemania 206.9, Francia 32.1, Italia 116.2 y Reino Unido 224.6%).

Para llevar a cabo el análisis planteado distinguimos, en primer lugar, entre crecimiento económico y desarrollo económico, entendiendo que el

² Aunque en el futuro el Reino Unido deje de formar parte de la UE, al cierre de este trabajo sigue perteneciendo a la misma.

crecimiento de la producción es una parte del desarrollo, pero que éste incluye también cuestiones ligadas a la calidad de vida que cada vez adquieren mayor relevancia. En segundo lugar, nos planteamos la relación del consumo de energía renovable y no renovable tanto con el crecimiento como con el desarrollo económico, para analizar los efectos que conlleva una mayor utilización de las energías renovables y extraer conclusiones de política económica. También se estudia el vínculo de la contaminación con el consumo de ambos tipos de energía, puesto que la sostenibilidad implica una reducción de la contaminación. El análisis se lleva a cabo mediante técnicas de cointegración.

La inclusión en el mismo estudio de variables relativas a la producción, al desarrollo económico y a la contaminación constituye una novedad relevante con respecto a la literatura previa, con la ventaja de que, como se analizan para el mismo periodo temporal y con idénticas técnicas, la comparación de los resultados obtenidos tiene una mayor fiabilidad, ya que las conclusiones alcanzadas por la literatura distan mucho si el periodo o la metodología varían —como podrá comprobarse en la primera sección—.

El trabajo ha quedado estructurado en cinco secciones. En la primera se realiza una revisión de la literatura económica en la materia. Las secciones segunda y tercera se centran en la economía española; se describen las variables empleadas, la metodología utilizada y los resultados obtenidos de su aplicación. En la cuarta sección se realiza un análisis comparativo con las principales economías europeas, aplicando la misma metodología que se ha detallado en la tercera sección. Finalmente, se presentan las conclusiones que se han alcanzado en este trabajo.

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Desde el trabajo publicado por Kraft y Kraft (1978), la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico³ ha sido objeto de estudio durante casi 40 años; sin embargo, la literatura que se refiere al desarrollo económico es más reciente. Debe señalarse que no se ha establecido aún ningún consenso en la materia, debido a que los resultados dependen de la selección de variables, la especificación de los modelos, los periodos de tiempo estudiados y la metodología econométrica empleada para analizar la causalidad entre el

³ En este trabajo el crecimiento económico se identifica con el nivel del PIB, no con la tasa de crecimiento del PIB.

consumo de energía (renovable y no renovable) y la variable explicada (crecimiento, desarrollo y contaminación).

Sintéticamente, podemos agrupar la literatura en cuatro categorías atendiendo a los resultados obtenidos en cuanto a la relación causal entre las variables. En primer lugar, los trabajos que respaldan la hipótesis de crecimiento que implica una causalidad unidireccional que va desde el consumo de energía al crecimiento económico, sugiriendo que un menor consumo de energía ejercerá un impacto negativo en el crecimiento económico. En segundo lugar, los estudios que apuntan hacia la hipótesis de retroalimentación, y que encuentran una relación causal bidireccional entre el consumo de energía y el crecimiento económico, apoyando la idea de que una política activa por parte del gobierno de impuestos o subvenciones puede ejercer un efecto positivo en el crecimiento económico, que a su vez llevará a tener una consecuencia en el consumo energético. En tercer lugar, las contribuciones que encuentran evidencia a favor de la hipótesis de conservación, que supone que en la medida en que la economía no es totalmente dependiente de la energía, el gobierno podrá adoptar políticas de conservación energética con un mínimo efecto sobre el crecimiento económico. Y, finalmente, aquellos trabajos que concluyen que no hay causalidad en ninguna dirección (hipótesis de neutralidad), y por lo tanto, cualquier política respecto al consumo de energía, conservadora o expansiva, se espera que tenga un efecto insignificante en el crecimiento económico. Lógicamente, estas mismas hipótesis podemos establecerlas para los trabajos que consideran como variable explicada el desarrollo económico o la contaminación.

A su vez, la literatura emplea diversas variables en el estudio de la relación que nos ocupa. Las más utilizadas como variables explicadas son el crecimiento económico medido mediante el nivel del PIB, el desarrollo económico expresado en función del Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la contaminación, medida en la mayoría de los trabajos como emisiones de CO₂. Como variables explicativas se suele utilizar el consumo de energía total, o bien desglosado en consumo de energías renovables y no renovables. Dada la extensa literatura existente, hemos considerado oportuno sintetizar los principales resultados en una serie de cuadros. En ellos se indica autor/es, periodo de estudio, países analizados, metodología seguida en el estudio y los resultados obtenidos con respecto a la relación causal entre las variables explicadas y explicativas. Así, el cuadro 1 recoge los trabajos que estudian la relación entre consumo de energía y crecimiento económico;

en el cuadro 2 se exponen las contribuciones referentes a la relación entre consumo de energías renovables y crecimiento económico; el cuadro 3 sintetiza aquellos estudios que abordan la relación entre consumo de energía y contaminación, y, finalmente, el cuadro 4 se destina a los trabajos centrados en la relación entre el consumo de energía y el desarrollo económico.

Como puede apreciarse a partir de la información contenida en los cuadros, los resultados de los distintos estudios están lejos de arrojar conclusiones claras. Si atendemos a la relación causal entre el consumo de energía y el PIB, cada una de las hipótesis planteadas (crecimiento, retroalimentación, neutralidad y conservación) se encuentra respaldada por un porcentaje similar de trabajos. Sin embargo, más de 50% de los trabajos consultados apoya la hipótesis de retroalimentación para la relación entre el consumo de energía renovable y el PIB. Por otra parte, también más de 50% de los estudios parecen encontrar evidencia de la hipótesis de crecimiento para explicar la relación entre la contaminación, el consumo de energía y la relación entre el desarrollo económico y el PIB. En definitiva, los resultados difieren dependiendo de los países analizados, las variables seleccionadas, el periodo elegido y la metodología aplicada. Para suplir esta deficiencia, en este artículo incluimos las principales variables que se emplean en la literatura, a saber, PIB, indicadores de desarrollo económico, indicadores de la contaminación y el consumo de energías renovables y no renovables, utilizando la misma técnica para analizar la relación entre ellas.

II. ANÁLISIS DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA. DATOS Y VARIABLES

A continuación describimos los datos de la economía española empleados para cuantificar cada una de las variables implicadas en este artículo. El periodo comprendido abarca de 1980 a 2010, por la disponibilidad de las series estadísticas en esa etapa. Los datos son anuales. Como variables explicadas tenemos el crecimiento económico, el desarrollo económico y la contaminación. Siguiendo la literatura que hemos sintetizado en la sección anterior, pretendemos analizar la relación de cada una de ellas con el consumo de energía renovable y no renovable con el fin de extraer conclusiones relativas a la sostenibilidad del modelo económico español.

En relación con el crecimiento económico, utilizamos el PIB real medido con el índice de volumen encadenado —disponible en Eurostat— y según SEC-95, por ofrecer disponibilidad de una serie homogénea desde 1980. En

CUADRO 1. Consumo de energía (CE) y PIB

Autor	Período	Países analizados	Metodología	Resultados	
Kraft y Kraft (1978)	1947-1974	Estados Unidos	SIMS	CE → PIB	Conservación
Yu y Choi (1985)	1950-1976	Reino Unido, Polonia, Filipinas, Estados Unidos, Corea	Causalidad Granger	CE \nleftrightarrow PIB	Neutralidad
Stern (1993)	1948-1994	Estados Unidos	Causalidad Granger	CE → PIB	Crecimiento
Cheng (1999)	1952-1955	India	Causalidad Granger	CE → PIB	Conservación
Soytas y Sari (2003)	1950-1992	10 países emergentes y G-7	Cointegración y VEC	CE → PIB Turquía, Alemania, Francia, Japón	Crecimiento
Lee (2006)	1960-2001	Japón	Granger Toda-Yamamoto	CE → PIB Italia, Corea	Conservación
Huang <i>et al.</i> (2008)	1973-1992	82 países en desarrollo y desarrollados	Panel VAR; GMM	CE \nleftrightarrow PIB Renta baja	Neutralidad
Narayan y Prasad (2008)	1960-2002	30 países OCDE	Bootstrapping	CE → PIB Renta media, alta	Conservación
Chiou-Wei <i>et al.</i> (2008)	1954-2006	Estados Unidos, Tailandia y Corea del Sur.	Causalidad Granger	CE \nleftrightarrow PIB	Neutralidad
Apergis y Payne (2009)	1980-2005	Centroamérica	Cointegración de Pedroni	CE → PIB	Crecimiento

Payne (2009)	1949-2006	Estados Unidos	Toda-Yamamoto	CE \neq PIB	Neutralidad
Bellumi (2009)	1971-2004	Turquía	VAR	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Oznrk y Acaravci (2010a)	1980-2006	Albania, Bulgaria, Rumania y Hungría	ARDL VEC	CE \leftrightarrow PIB Hungría	Retroalimentación
Oznrk <i>et al.</i> (2010)	1971-2005	Países de renta baja y media	Cointegración y causalidad	CE \neq PIB Resto	Neutralidad
Cheng <i>et al.</i> (2010)	1982-1997	Taiwán	Cointegración y VEC	CE \rightarrow PIB	Crecimiento
Apergis y Payne (2010a)	1985-2005	20 países OCDE	Cointegración y causalidad	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Belke <i>et al.</i> (2011)	1981-2007	25 países de OCDE	Cointegración FMOLS	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Eggoh <i>et al.</i> (2011)	1970-2006	21 países africanos	Cointegración y causalidad	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Fuinhas y Marques (2012)	1965-2009	Portugal, Italia, Grecia, España y Turquía	ARDL	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Apergis y Payne (2012)	1990-2007	80 países desarrollados y en desarrollo	Cointegración panel y ECM panel	CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación
Apergis y Foon (2013)	1975-2007	85 países	Granger Toda-Yamamoto	CE \rightarrow PIB Renta media, alta	Crecimiento
Essegghir y Haouaoui (2014)	1980-2010	38 países mediterráneos	ECM	CE \neq PIB Renta baja	Neutralidad
				CE \leftrightarrow PIB	Retroalimentación

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 2. Consumo de energía renovable (ER) y no renovable (ENR) y PIB

Autor	Periodo	Países analizados	Metodología	Resultados (ER)		Resultados (ENR)	
Soytas <i>et al.</i> (2007)	2001-2005	Estados Unidos	ARDL	ER - PIB	Conservación	ENR - PIB	Conservación
Sadorsky (2009a)	1994-2003	Países emergentes	VECM	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Sadorsky (2009b)	1980-2005	G-7	FMOLS	ER ↔ PIB	Conservación		
Payne (2009)	1949-2006	Estados Unidos	Toda-Yamamoto	ER ↔ PIB	Neutralidad	ENR ↔ PIB	Neutralidad
Apergis <i>et al.</i> (2010)	1984-2007	Países desarrollados y en desarrollo	VECM	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Apergis y Payne (2010a)	1985-2005	20 países OCDE	Cointegración y causalidad	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Apergis y Payne (2010b)	1992-2007	Eurasia	VECM	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Menegaki (2011)	1997-2007	Europa	VECM	ER ↔ PIB	Neutralidad		
Apergis y Payne (2011)	1985-2006	América Central	VECM	ER ↔ PIB	Retroalimentación	ENR ↔ PIB	Retroalimentación
Apergis y Payne (2012)	1990-2007	80 países desarrollados y en desarrollo	Cointegración panel y ECM panel	ER ↔ PIB	Retroalimentación	ENR ↔ PIB	Retroalimentación
Tugcu <i>et al.</i> (2012)	1980-2009	G-7	ARDL	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Yildirim <i>et al.</i> (2012)	1949-2010	Estados Unidos	Toda-Yamamoto	ER(Biomasa) → PIB	Crecimiento		
Shafiei <i>et al.</i> (2013)	1980-2011	OCDE	STRPAT	ER ↔ PIB (Resto)	Neutralidad		
Pao y Fu (2013)	1980-2010	Brasil	VECM	ER ↔ PIB	Retroalimentación		
Bildirici (2013)	1980-2009	10 países en desarrollo y emergentes	ARDL	ER ↔ PIB	Retroalimentación	ENR → PIB	Crecimiento
Leitao (2014)	1970-2010	Portugal	GMM: VECM	ER → PIB	Crecimiento		
Bozkurt y Destek (2015)	1980-2010	OCDE	ARDL	ER → PIB	Crecimiento		
				Países más desarrollados			

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 3. Consumo de energía (CE) y contaminación (CO₂)

Autor	Periodo	Países analizados	Metodología	Resultados
Soytas y Sari (2009)	1960-2000	Turquía	Causalidad de Granger	CE - CO ₂
Lean y Smyth (2010)	1980-2006	ASEAN	Causalidad de Granger	CE → CO ₂
Ozturk y Acaravci (2010b)	1960-2005	19 países europeos	ARDL	CE → CO ₂
Apergis y Payne (2010c)	1992-2004	11 países de la Commonwealth	VECM	CE → CO ₂
Shafiei y Salim (2014)	1980-2011	OCDE	STIRPAT	ENR ↔ CO ₂
Ajmi <i>et al.</i> (2015)	1960-2010	G-7	VAR	ER → CO ₂ CE ↔ CO ₂ EUA CE → CO ₂ Francia

FUENTE: elaboración propia.

CUADRO 4. Consumo de energía (CE) y desarrollo económico

Autor	Periodo	Países analizados	Metodología	Resultados
Ghali y El-Sakka (2004)	1961-1997	Canadá	VEC	EL → IDH
Martínez y Ebenhack (2008)	2004	120 países	Técnicas de correlación	CE → IDH
Kanagawa y Nakata (2008)	2001	India	Modelos de regresión	CE ≠ IDH
Mazur (2011)	1980-2006	21 países industrializados	Técnicas de correlación	EL → IDH
Pirlogea (2012)	1997-2008	6 países europeos	Causalidad de Granger	Rentas bajas EL - IDH Rentas altas
Ouedrogo (2013)	1988-2008	18 países en desarrollo	ECM	CE → IDH
Niu <i>et al.</i> (2013)	1990-2010	50 países	Causalidad de Granger	ER → IDH
Menegaki y Ozturk (2013)	1975-2009	26 países europeos	MCE	CE → IDH
Kazar. y Kazar (2014)	1980-2010	154 países	Causalidad de Granger	CE ↔ Desarrollo CE ↔ Estabilidad política ER ↔ IDH

FUENTE: elaboración propia. ^a EL: consumo de electricidad.

el periodo analizado, el PIB español se ha más que duplicado (120%), con descensos en los años 1993, 2009 y 2010, correspondientes a los periodos de crisis económica en estas tres décadas.

Además de considerar el PIB, que es lo habitual en la literatura, tal como puede apreciarse en los cuadros 1 y 2, se incluyen otras variables *proxies* del crecimiento económico con el fin de dotar de robustez a los resultados que se obtengan. Los nuevos indicadores atienden al modelo de crecimiento económico de Solow, siendo relativos al capital y al empleo. En cuanto a la variable capital, se considera el índice de volumen encadenado de la formación bruta de capital —disponible en Eurostat—, la inversión bruta y el stock de capital productivo, ambos extraídos de la Fundación BBVA y del Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE). En cuanto al empleo, se utiliza la serie en horas trabajadas y se obtiene enlazando series de la base de datos macroeconómica anual (AMECO) de la Dirección General de Asuntos Económicos y Financieros de la Comisión Europea con las del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Como ya se ha mencionado, los indicadores de crecimiento económico no recogen aspectos relativos a la calidad de vida, por lo que han recibido numerosas críticas y han ido surgiendo nuevos indicadores que recogen una información más extensa, que interpretamos como indicadores del concepto más amplio de desarrollo económico. Debido a la disponibilidad de información y a que es el que se utiliza en los trabajos que abordan la relación entre el desarrollo y el consumo de energía (véase el cuadro 4), hemos seleccionado, entre esos indicadores, el IDH, publicado de forma anual por la Fundación Bancaria y el IVIE. Desde 1980 hasta 2010, el IDH se ha incrementado en España 29.9%, pasando de 0.582 en 1980, hasta 0.756 en el año 2010.

Además, como novedad en relación con la literatura previa, hemos tenido en cuenta el capital social como proxy adicional. Este índice mide un activo intangible que facilita los logros de resultados personales y de grupo, tanto económicos como sociales, gracias a que genera externalidades o beneficios potenciales positivos para los miembros de un grupo social determinado.⁴ La información se extrae de la Fundación BBVA y del IVIE.

En lo que se refiere a la contaminación, se eligen las emisiones de CO₂ —que es la variable más empleada en los trabajos de este tipo—, como puede verse en el cuadro 3.⁵ Nos parece de interés considerar las emisiones de CO₂

⁴ Véase en Fernández de Guevara Radoselovics, Pérez García y Serrano Martínez, 2015.

⁵ Además, las series de emisiones de Gases Efecto Invernadero están disponibles sólo desde 1990.

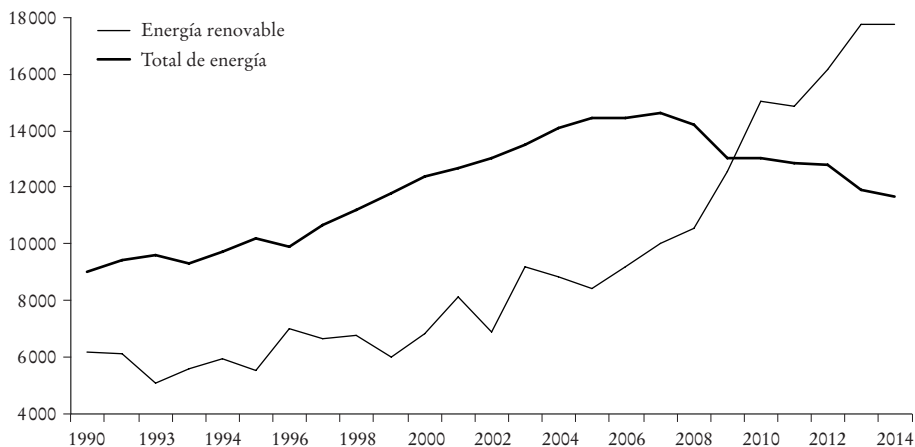
como indicador, porque a nivel internacional los objetivos contra el cambio climático lo han tomado como referencia y porque es el gas contaminante más importante y responsable de 58.8% de las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo (Halicioglu, 2009). La fuente utilizada es la Agencia de Información de la Energía de los Estados Unidos y la unidad de medida la Kilotonelada (kt). Desde 1980 en España ha habido una tendencia de crecimiento de las emisiones, que parece haber revertido desde el año 2007, coincidiendo con los diversos esfuerzos políticos realizados en la materia. No obstante, en España se emitieron 270 000 kt de CO₂ en el año 2010, lo que supone 7.3% de la UE, por debajo de su peso en términos de población (9.2%).

En cuanto al consumo de energía renovable, utilizaremos como indicador el consumo de ésta en el sistema eléctrico, medido en kilowatios y disponible en la Agencia de Información de la Energía de Estados Unidos. El motivo para elegir este indicador es que la mayor parte de las renovables se transforman en el sistema eléctrico, de tal manera que aproximadamente 60% de la energía renovable en España es para el consumo de electricidad. De hecho, España es el país líder de la UE en este ámbito, siendo 40% de la energía eléctrica generada en España procedente de fuentes de energía renovable. Este indicador es el que utiliza la mayoría de los trabajos que se muestran en el cuadro 2, excepto el de Bildirici (2013), que usa la energía de biomasa. Otros trabajos añaden al consumo de energía renovable en el sistema eléctrico otros indicadores, como el de Yildirim *et al.* (2012), que introduce también la energía de biomasa, el de Soytaş *et al.* (2007), que incluye el consumo de energía solar y eólica y el de Sardosky (2009), que junto a estas dos, considera la energía geotérmica.

Como se aprecia en la gráfica 1, la tendencia del consumo de energía renovable se ha mantenido frente al consumo total de energía.

Finalmente, en lo que se refiere al consumo de energía no renovable, el indicador seleccionado es el consumo de petróleo, disponible en la Agencia de Información de la Energía de Estados Unidos. Se ha elegido este indicador porque es la principal fuente de energía no renovable (especialmente por el sector transporte), que supone 52.5% del total de energía no renovable, por encima de la media de la UE (38.5%). Este indicador de consumo de energía no renovable es utilizado, entre otros, por Payne (2009), que incluye además el consumo de carbón y gas natural, y por Pao y Fu (2013), que introducen asimismo el consumo de energía no renovable en el sector eléctrico.

GRÁFICA 1. Consumo de energía en España



FUENTE: Eurostat.

En el cuadro A1 del apéndice se muestra la estadística descriptiva correspondiente a todas las variables descritas en esta sección.

III. METODOLOGÍA Y RESULTADOS PARA LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

En este trabajo se estudia la posible existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables de desarrollo y contaminación y las relativas al consumo de energía mediante las técnicas de análisis de cointegración, aplicando la metodología de Johansen (1988 y 1992). Para ello, seguiremos los pasos habituales: en primer lugar, se determina el orden de integración de las variables, que están todas tomadas en logaritmos; a continuación se especifica el número óptimo de retardos; en tercer lugar, se determinan las relaciones de cointegración entre las variables mediante el test de la traza y el del máximo valor propio y se estiman los vectores de cointegración; finalmente, se lleva a cabo un análisis de las relaciones de causalidad a largo y corto plazo entre las variables.

En cuanto al orden de integración, se emplea el test Dickey Fuller Aumentado (ADF) (Dickey y Fuller, 1981), para el que también se utilizan los valores críticos de Cheung y Lai (1995), el test Kwiatkowski, Phillips, Schmidt y Shin (KPSS) (Kwiatkowski *et al.*, 1992), el test de Leybourne (1995) y el test Phillips y Perron (PP) (Phillips y Perron, 1988). Se tienen en cuenta las variables en nivel y en primera diferencia y se aplican para dos estructuras

deterministas: constante y tendencia. Para el test ADF y el test PP se considera asimismo una estructura determinista sin constante ni tendencia. En el caso de que los test arrojen resultados contradictorios, se escoge el que haya sido avalado al menos por dos de los cinco test aplicados. Si la contradicción surge en relación con la estructura determinista, se atenderá a los resultados de constante y tendencia de las series en nivel y a los resultados con sólo constante o sin constante ni tendencia para las series en primera diferencia.

Los test de raíces unitarias nos conducen a los siguientes resultados.⁶ Atendiendo a lo obtenido en todos los test, el PIB, la Formación Bruta de Capital (FBC), el IDH, las emisiones de CO₂ (CO₂), el consumo de energía no renovable (ENR) son $I(1)$, excepto cuando aplicamos el test KPSS. El capital social (KS) y el consumo de energía renovable (ER) son $I(1)$ atendiendo al test ADF, con los valores críticos de Cheung y Lai y al test de Leybourne (1995). La inversión bruta y el empleo en horas trabajadas se han excluido del análisis porque sólo un test apunta a que son $I(1)$ (test PP para la primera y test KPSS para la segunda). Por lo tanto, finalmente, para el estudio se seleccionan las siguientes variables: para el crecimiento económico empleamos el PIB y FBC, para el desarrollo económico el IDH y KS, para la contaminación, las emisiones de CO₂, y para el consumo de energía, consumo de renovables en la electricidad (ER) y el consumo de petróleo (ENR).

1. Relaciones de cointegración

Una vez seleccionadas las variables, y para determinar si existen relaciones de cointegración entre las variables de crecimiento, desarrollo económico y contaminación y las de consumo de energía, seleccionamos el número de retardos definiendo un VAR no restringido. Se aplican los criterios de información de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn, y los criterios del ratio de verosimilitud y del error de predicción final. Si hay disparidad entre ellos, se prueba con todos los retardos óptimos determinados por cada criterio, para observar si quedan afectados los resultados en los que se refiere al modelo a utilizar y las relaciones de cointegración. Por último, se presentan los resultados obtenidos con el menor número de retardos posibles atendiendo al principio de parsimonia.

⁶ Los resultados están disponibles previa petición a los autores.

Para la especificación determinística aplicamos el principio de Pantula (1989), que consiste en avanzar desde el modelo más restrictivo al menos, contrastando sucesivamente la hipótesis nula de ausencia de relación de cointegración y, tras esto, la hipótesis nula de una relación de cointegración, etc. Este proceso terminará cuando se encuentre el primer modelo que no rechaza la hipótesis nula. De esta forma, se obtendrá el número de relaciones de cointegración que se admiten y la especificación determinística adecuada del modelo.

Aplicando esta metodología, el cuadro 5 presenta los resultados del análisis de cointegración obtenidos aplicando el test de la traza y el del valor propio máximo. Consideramos como variables explicadas las relativas al crecimiento económico (PIB, FBC), desarrollo económico (IDH, KS) y contaminación (CO₂), y como variables explicativas, siguiendo las aportaciones recogidas en la sección I, el consumo de energía renovable (ER) y no renovable (ENR).

CUADRO 5. *Test de cointegración*

Estadísticos	Traza			Valor propio máximo			
	Rango (r)	r = 0	r ≤ 1	r ≤ 2	r = 0	r ≤ 1	r ≤ 2
PIB, ER, ENR		41.690**	16.643	3.203	25.046**	13.440	3.203
IDH, ER, ENR		33.880**	6.946	0.098	26.933**	6.849	0.098
CO ₂ , ER, ENR		25.259**	5.711	0.696	19.547**	5.015	0.696
FBC, ER, ENR		35.336**	13.775	2.030	21.562	11.745	2.030
KS, ER, ENR		35.479**	17.418	2.496	18.061	14.922	2.496

***, ** Se rechaza la hipótesis nula (ausencia de cointegración) a 1 y 5% de significación respectivamente. El número de retardos y la especificación determinística se recogen en el cuadro 6.

Como puede apreciarse en el cuadro 5, el test de la traza indica que existe una relación de cointegración en todos los casos, resultado confirmado por el test del valor propio máximo para tres relaciones. Estos resultados nos conducen a estimar el vector de cointegración para cada relación (véase el cuadro 6), que en su versión más general sería:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln ER_t + \beta_2 \ln ENR_t + \beta_3 \text{ tendencia} \quad (1)$$

donde Y_t corresponde a las distintas variables explicadas que hemos seleccionado para el crecimiento, el desarrollo económico y la contaminación.

La estimación de la expresión (1) se recoge en el cuadro 6. Como puede observarse, en todos los casos los residuos son normales y el parámetro de velocidad de ajuste, estimado con el Modelo de Corrección de Error (MCE)

CUADRO 6. *Vectores de cointegración*^a

Y_t	ED	Retardos	β_1	β_2	$H_0: \beta_1 = \beta_2^b$	Contraste de normalidad de los residuos ^c	μ	$H_0: \mu = 0^d$
PIB	2	2	0.336** (2.197)	0.790*** (4.030)	1.376	11.695	-0.056	3.541**
IDH	3	3	0.082** (2.754)	0.262*** (6.641)	5.852**	10.774	-0.075	3.106*
CO ₂	1	4	-1.696*** (-15.231)	6.204*** (4.171)	3.833**	4.900	-0.021	4.962**
FBC	2	2	0.268 (1.240)	1.344*** (4.792)	3.167*	17.297	-0.108	3.091*
KS	2	2	1.077** (2.350)	1.941*** (3.180)	0.326	14.466	-0.381	3.126*

^a Entre paréntesis figura el estadístico t . ED: especificación determinística: Modelo 1: ni tendencia ni constante en la ecuación de cointegración (EC) o el VAR; Modelo 2: con constante pero no tendencia en la EC (no constante en el VAR); Modelo 3: constante pero no tendencia en la EC y el VAR.

^b El estadístico se distribuye como una $\chi^2(1)$.

^c La hipótesis nula es la normalidad de los residuos. Los resultados corresponden al estadístico Jarque-Bera que se distribuye como una $\chi^2(6)$. Se emplea el método de ortogonalización de Cholesky.

^d El estadístico se distribuye como una $\chi^2(1)$.

***, **, * Se rechaza la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

que se especifica en el apartado 2 de la sección III y denotado con μ , es negativo y significativo, indicando la bondad de la estimación realizada. Asimismo, μ toma valores entre -1 y 0 , indicando la existencia de ajuste hacia el equilibrio en el largo plazo. No obstante, son valores más cercanos a 0 que a -1 , lo que implica que las desviaciones del equilibrio tardan más de un periodo en corregirse.

Los resultados del cuadro 6 nos indican que el consumo de energía tiene un impacto positivo sobre el crecimiento y el desarrollo, presentando el consumo de energía no renovable un impacto mayor, especialmente en el caso de la FBC, donde el consumo de energía renovable no es significativo. Obsérvese también que para el caso del PIB y del KS los coeficientes estimados no son estadísticamente distintos. En relación con la contaminación, como podía esperarse, el consumo de renovables la reduce y el de no renovables la aumenta, pero el impacto positivo de las no renovables es mayor que la reducción conseguida por el uso de las renovables, por lo que la sustitución de energía no renovable por renovable podría conseguir efectos muy importantes sobre la disminución de la contaminación.

Estos resultados sugieren que la reducción del consumo de energía no renovable a favor de las renovables lleva a menores tasas de crecimiento y des-

arrollo, pero conduce a una reducción relevante de las emisiones de CO_2 . Por lo tanto, sería conveniente desde la gestión de la política económica tener muy claro el modelo que se pretende para España, a saber, un país desarrollado con altas tasas de crecimiento con un modelo energético basado en fuentes convencionales, o un país desarrollado con un crecimiento sostenido aunque menor, en el que su modelo energético busca la sostenibilidad.

2. Análisis de la causalidad

A partir de las estimaciones anteriores, realizamos un análisis de la causalidad entre las variables. Como ya se comentó en la sección de revisión de la literatura, los resultados de este análisis conducen a establecer distintas hipótesis en cuanto a la relación entre las variables, con las correspondientes implicaciones de política económica. La hipótesis de crecimiento indica una causalidad unidireccional que va desde el consumo de energía a la variable explicada, lo que sugiere que un menor consumo de energía ejercerá un impacto negativo en el crecimiento o el desarrollo. Por el contrario, la hipótesis de conservación, implica que en la medida en que la economía no es totalmente dependiente de la energía, el gobierno podrá adoptar políticas de conservación energética con un efecto mínimo sobre el crecimiento económico. La hipótesis de neutralidad se refiere al caso en el que no hay causalidad en ninguna dirección y, por lo tanto, cualquier política respecto al consumo de energía, conservadora o expansiva, se espera que tenga un efecto insignificante sobre la variable explicada. Finalmente, la hipótesis de retroalimentación sugiere una relación causal bidireccional entre el consumo de energía, el crecimiento y desarrollo económicos, por lo que una política activa por parte del gobierno de impuestos o subvenciones pueden ejercer un efecto positivo en el crecimiento y en el desarrollo, que a su vez llevará a tener una consecuencia sobre el consumo energético. Análogamente, las mismas implicaciones pueden aplicarse en el caso de que consideremos como variable explicada las emisiones de CO_2 .

Para realizar el análisis de causalidad se estima un Modelo de Corrección de Error (MCE). Como es bien conocido, de acuerdo con el teorema de representación de Engle y Granger (1987), si existe una relación de cointegración entre un conjunto de variables, se puede estimar un MCE que recoja el comportamiento a corto plazo. Dada la elección de las variables y elegido el orden del VAR (véase el cuadro 6), condicionado a la existencia de un

vector de cointegración, el punto de partida es el desarrollo de un modelo autorregresivo de retardos distribuidos de orden i en $\ln Y$, $\ln ER$ y $\ln ENR$, donde Y es la variable explicada en cada caso. Para cada Y , el orden i elegido es el que aparece en el cuadro 6. La forma del MCE sería la siguiente:

$$\Delta \ln Y_t = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \Delta \ln Y_{t-i} + \sum_i \lambda_i \Delta \ln ER_{t-i} + \sum_i \gamma_i \Delta \ln ENR_{t-i} + \mu MCE_{t-1} \tag{2}$$

$$\Delta \ln ER_t = \delta_0 + \sum_i \delta_i \Delta \ln Y_{t-i} + \sum_i \theta_i \Delta \ln ER_{t-i} + \sum_i \rho_i \Delta \ln ENR_{t-i} + \varphi_2 MCE_{t-1} \tag{3}$$

$$\Delta \ln ENR_t = \psi_0 + \sum_i \psi_i \Delta \ln Y_{t-i} + \sum_i \vartheta_i \Delta \ln ER_{t-i} + \sum_i \omega_i \Delta \ln ENR_{t-i} + \varphi_3 MCE_{t-1} \tag{4}$$

El análisis de la causalidad a largo plazo se realiza mediante el contraste de la exogeneidad débil de Hendry (1995). En el caso de que la hipótesis nula sea la exogeneidad débil de ER , consideramos la hipótesis nula $H_0: \phi_2 = 0$, mientras que se considera $H_0: \phi_3 = 0$ para la exogeneidad débil de ENR . Los estadísticos correspondientes se distribuyen como una $\chi^2(1)$. Los resultados obtenidos aparecen en el cuadro 7.

CUADRO 7. Exogeneidad débil

Y_t	$H_0: \phi_2 = 0$	$H_0: \phi_3 = 0$
PIB	1.398	4.676**
IDH	1.571	7.788**
CO ₂	1.497	5.396**
FBC	2.169	3.477**
KS	0.159	3.049*

***, **, * Rechazo de la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

Los resultados apuntan a que para las variables de crecimiento y desarrollo se verifica la hipótesis de crecimiento en cuanto a la relación entre ellas y el consumo de energía renovable y, por lo tanto, el consumo de

energía renovable incide en el crecimiento y en el desarrollo, pero mayores niveles de crecimiento y desarrollo no estimulan el consumo de energías renovables.⁷ Sin embargo, para el consumo de energía no renovable, los datos apoyan la hipótesis de retroalimentación, por lo que mayores tasas de crecimiento y desarrollo conducen a mayores niveles de consumo de energía no renovable. Cuando consideramos la contaminación como variable explicada, los resultados indican evidencia de un círculo vicioso con la energía no renovable, mientras que para la energía renovable se confirma la hipótesis de crecimiento.

En definitiva, los resultados plantean que mayores niveles de los indicadores de crecimiento y desarrollo no llevan por sí solos hacia la sostenibilidad a largo plazo porque incentivan el consumo de energía no renovable, pero no el de la renovable, con los consiguientes efectos sobre la contaminación. Por lo tanto, el “esperar y crecer”, en la línea de la recomendación de la curva de Kuznets del carbono,⁸ para reducir la degradación ambiental podría carecer de sentido. Ello significa que, para que el modelo económico y energético actual en España vaya por la senda del desarrollo sostenible, parece conveniente apoyar el impulso externo de las políticas energéticas y medioambientales adecuadas que incentiven el consumo de energías renovables frente a las no renovables, porque el modelo por sí solo no estimula la sustitución de la energía no renovable por la renovable. Como sugieren los coeficientes β_1 y β_2 del cuadro 6, la implementación de este tipo de políticas no lleva consigo un decrecimiento o un menor desarrollo, aunque sí indica una renuncia en niveles de los indicadores de crecimiento y desarrollo más elevados por otros más moderados, pero que no comprometerán el futuro de las próximas generaciones y preservarán un bien público global como es el clima del planeta, puesto que, como ya se ha comentado, consigue reducciones significativas de las emisiones de CO₂.

Esta intervención que se recomienda a partir de las estimaciones viene justificada desde la teoría económica, puesto que las mejoras en la calidad ambiental o en el clima del planeta tienen las características de un bien pú-

⁷ Estos resultados están en la misma línea que los obtenidos para España por Pirlogea y Cicea (2012) y Apergis y Constantine (2014), que encuentran evidencia de la hipótesis de crecimiento en la relación entre el crecimiento y las energías renovables. No obstante, los resultados de Narayah y Prasad (2008) respaldan la hipótesis de neutralidad y los de Ciarreta y Zarraga (2010) apoyan la hipótesis de retroalimentación.

⁸ Véase Zilio y Caraballo (2014) para una revisión de la literatura sobre la curva de Kuznets del carbono.

blico, ya que no existe rivalidad en el consumo de las nuevas condiciones atmosféricas y tampoco se puede producir exclusión de las mismas. Y el cambio climático constituye una externalidad negativa, por lo que el precio de mercado no recoge toda la información sobre los costes y no incentivan suficientemente al sector privado para que desarrolle la investigación y la innovación necesarias en nuevos procesos en los que los plazos son largos y los beneficios suelen ser públicos.

Completamos el estudio para la economía española con el análisis de la exogeneidad fuerte (causalidad a corto plazo) de las variables empleadas mediante un test de Wald. La exogeneidad fuerte del consumo de energía, que podemos interpretar como una relación de causalidad desde el consumo de energía hacia las variables explicadas Y , se contrasta mediante $H_0: \lambda_i = 0$ y $H_0: \gamma_i = 0$ en la ecuación (2), para el consumo de renovables y no renovables, respectivamente. En este caso también consideramos la exogeneidad conjunta de ambas variables de consumo de energía. La relación de causalidad desde Y hacia el consumo de ER se contrasta mediante $H_0: \delta_i = 0$ en la ecuación (3) y desde Y hacia el consumo de ENR con $H_0: \psi_i = 0$ en la ecuación (4). Si rechazamos la hipótesis nula, consideramos que las variables no son fuertemente exógenas y se rechaza que no exista causalidad en el corto plazo en la dirección establecida. El estadístico se distribuye como una $\chi^2(k)$, siendo k el número de restricciones. Los resultados aparecen en el cuadro 8.

CUADRO 8. Exogeneidad fuerte

Dirección de la causalidad	H_0	Estadístico $\chi^2(k)$				
		$Y = PIB$	$Y = IDH$	$Y = CO_2$	$Y = FBC$	$Y = KS$
$ER \rightarrow Y$	$\lambda_i = 0$	0.401	2.042	8.764*	0.023	7.235**
$ENR \rightarrow Y$	$\gamma_i = 0$	0.021	1.221	6.144	0.372	2.453
$ER, ENR \rightarrow Y$	$\lambda_i = \gamma_i = 0$	0.439	2.735	17.344**	0.480	7.699
$Y \rightarrow ER$	$\delta_i = 0$	0.055	1.620	1.370	1.946	0.025
$Y \rightarrow ENR$	$\psi_i = 0$	9.968**	8.174**	6.678	5.259*	5.109*

***, **, * Rechazo de la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

Si atendemos a los resultados del cuadro 8, observamos que hay una relación de causalidad desde las variables de crecimiento económico, PIB y FBC, y de desarrollo, IDH y KS, hacia el consumo de energías no renovables, pero no hacia las renovables, por lo que se pueden confirmar los resultados que obtuvimos anteriormente en cuanto a que el crecimiento y el desarrollo económico no estimulan el consumo de energía renovable. Además, hay

una relación de causalidad desde el consumo de energía hacia la contaminación. Por lo tanto, ambos resultados vuelven a sugerir que se hace necesaria la intervención pública si se quiere conseguir resultados en materia medioambiental.

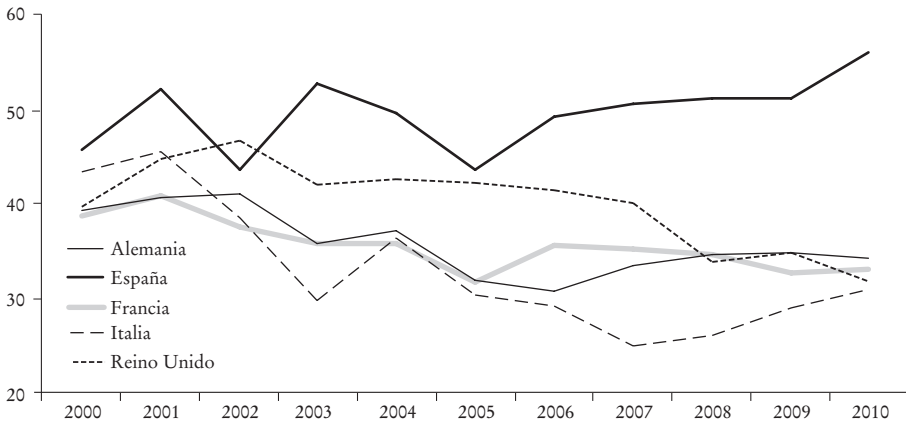
IV. COMPARACIÓN CON LAS GRANDES ECONOMÍAS EUROPEAS

En esta sección compararemos los resultados obtenidos para la economía española con las grandes economías europeas, a saber, Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido. Para ello, emplearemos también datos anuales correspondientes al periodo 1980-2010 y se utilizará la misma metodología que la empleada en la sección anterior. En cuanto a las variables empleadas, se han utilizado las mismas fuentes para su obtención, exceptuando el PIB real medido con índice de volumen encadenado para Alemania e Italia. Para ambos países no hay información en Eurostat de 1980 a 1990, por lo que se enlazan datos de Eurostat con las tasas de World Data Bank del Banco Mundial. Además, la falta de disponibilidad de datos nos ha llevado a excluir el IDH y la FBC.⁹ En el cuadro A2 del apéndice se encuentra la estadística descriptiva de las variables.

Por lo que se refiere a la evolución de las variables en el periodo analizado, cabe destacar, en cuanto al PIB, que los países considerados presentan tendencias similares, habiendo registrado crecimientos de la economía en prácticamente los 30 años analizados salvo los primeros años de la década de 1990 y a finales de la década de 2000. Destaca el incremento registrado por la economía española que se ha más que duplicado (120%) entre 1980 y 2010, registrando el mayor crecimiento de los países más grandes de la UE, seguido del Reino Unido (115.5%) y muy lejos de las subidas en Francia, Alemania e Italia (71.7, 67.8 y 51.1%, respectivamente). Un comportamiento similar se observa en relación con el capital social, siendo España el país que ha mostrado un mayor crecimiento en estos últimos 30 años, con un incremento de 341.2% del capital social, seguido del Reino Unido (318.9%), en ambos casos el triple que la subida en términos de PIB, y siete veces superior a los registrados en el resto de las economías consideradas.

Asimismo, los cinco países analizados han mostrado una tendencia decreciente con respecto a las emisiones de CO₂ (-10.4%), más intensa en la última

⁹ Los datos del IDH desde 1980 hasta 2010 para estos países tienen una periodicidad decenal. Y en cuanto a la FBC, no disponíamos de series homogéneas para Alemania e Italia.

GRÁFICA 2. *Porcentaje del consumo de renovables que se destinan a electricidad*

FUENTE: Eurostat, EIA.

mitad de la década de 2000, destacando Alemania, Francia y Reino Unido con reducciones de dos dígitos. Francia es el país con menor impacto ambiental, ya que el peso que supone el CO₂ sobre el total de la UE es del 9.7%, seis puntos menos que lo que representa en términos de PIB, mientras que Alemania y Reino Unido han logrado situarse en línea con su peso respecto al PIB.

En cuanto al consumo de energía renovable, España e Italia son de los cinco países más grandes de la UE en los que el peso del consumo de energía renovable sobre el total supera los dos dígitos (11.3 y 12.6%, respectivamente), dos puntos superior a la media de la UE (9.6%), y más que duplicando su representación en la última década. Por lo que se refiere al consumo de energía renovable en el sistema eléctrico, que es el indicador utilizado, la gráfica 2 muestra que alrededor de 40% de la energía renovable que se consume en los cinco países más grandes de la UE se destina a la electricidad; de éstos destaca España, en donde el porcentaje se sitúa en 56%, mientras que en el resto de los países analizados el consumo se encuentra en línea con la media de la UE (34.3%).

Si observamos el comportamiento del consumo de energía renovable en nuestra muestra de cinco países, encontramos que se ha más que duplicado en los 30 años analizados (123.9%), correspondiendo casi la totalidad de este incremento a la última década (87.8%) que, como ya se ha comentado, es cuando se han centrado los esfuerzos en la apuesta por la sostenibilidad energética, y dónde vuelve a destacar España liderando la subida, en línea

con los resultados en el Reino Unido y Alemania. Asimismo, las previsiones que señala *BP Energy Outlook* apuntan a una caída de los costes que podría propiciar que las energías renovables sigan ganando cuota en Europa, al permitir que esa barrera de entrada se aminore y favorezca el incremento en el uso de este tipo de energía, al hacer posible alcanzar el objetivo establecido en el marco sobre clima y energía, que las renovables supongan 27% del consumo de energía de la UE en 2030.

Finalmente, por lo que se refiere al consumo de petróleo, utilizado como indicador del consumo de energía no renovable, supone 38.6% del total de no renovable en los cinco mayores países de la UE, algo superior a la media de la UE (38.5%), y donde destaca España con el mayor peso (52.5%) en contraste con el de Francia (33.5%). En los últimos 30 años el consumo de petróleo se ha reducido 11% en los países analizados, correspondiendo nueve de los 11 puntos del descenso a lo ocurrido en la última década. Todos los países observados registran descensos, a excepción de España (+46.5% en el periodo 1980-2010 y estancamiento en la última década), destacando Alemania, Francia e Italia con descenso en torno a 20%.

A continuación, siguiendo la metodología de la sección 3, se han realizado los test de raíces unitarias.¹⁰ Se han incluido en el análisis aquellas variables que son $I(1)$ al menos para dos test. Los resultados a los que hemos llegado son los siguientes: para Alemania todas las variables son $I(1)$ atendiendo a los resultados de cuatro test, excepto ER que es $I(2)$ excepto para el test PP que es $I(1)$, aun así hemos optado finalmente por incluirla en el análisis; en el caso de Francia, ER y CO₂ son $I(1)$ para dos test —test PP y KPSS en el caso de ER y test ADF y ADF con valores críticos de Cheung y Lai (1995) para CO₂— y el resto son $I(1)$ al menos para cuatro test; en cuanto a Italia, decidimos excluir KS porque es $I(0)$ para todos los test excepto para el test KPSS que es $I(1)$.¹¹ El resto de las variables son $I(1)$ al menos para cuatro test. Para el Reino Unido, todas las variables, excepto ENR son $I(1)$, al menos para cuatro test y ENR es $I(1)$ para el test KPSS y el test de Leybourne (1995). En síntesis, hemos llevado a cabo el análisis de cointegración con todas las variables excepto con KS para Italia.

El siguiente paso es determinar si las variables están cointegradas. El cuadro 9 resume los resultados de los test de cointegración que se recogen en el

¹⁰ Los resultados están disponibles previa petición a los autores.

¹¹ Recuérdese que la inclusión de variables $I(0)$ puede aumentar artificialmente el número de relaciones de cointegración.

CUADRO 9. *Relaciones de cointegración*

PIB, ER, ENR	Alemania	Francia	Italia	Reino Unido
KS, ER, ENR	Alemania	Francia		Reino Unido
CO ₂ , ER, ENR		Francia		Reino Unido

cuadro A3 del apéndice, indicando en la primera columna las variables para las que se contrasta la hipótesis de existencia de relación de cointegración, y recogiendo en las restantes columnas los países para los que los test indican que existe una relación de cointegración entre las variables de la primera columna.

A partir de estos resultados, estimamos el vector de cointegración indicado en la ecuación (1), para cada una de las relaciones de cointegración obtenidas. Los resultados aparecen en el cuadro 10. Éstos apuntan hacia una confirmación de lo que se observó para España en términos de crecimiento, desarrollo y contaminación. Por una parte, tanto para el indicador de crecimiento económico, PIB, como para el de desarrollo, KS, se constata que la contribución del consumo de energía no renovable tiene un mayor impacto que la renovable, excepto para Italia, que es similar. Por otra, en los países en que se analiza la contaminación, se observa que el uso de energía renovable contribuye a reducirla, mientras que la no renovable la aumenta, y se verifica también el hecho de que el efecto reductor de la renovable es inferior al efecto contaminante de no renovable, con las importantes consecuencias que esto podría plantear en la reducción de la degradación medioambiental.

La bondad de las estimaciones realizadas en el cuadro 10 se aprecia en que se acepta la hipótesis de normalidad de los residuos y el parámetro de ajuste μ tiene un valor negativo, menor que 1 y significativamente distinto de cero. Sólo en la estimación de la relación tomando el PIB del Reino Unido como variable explicada no se verifican ninguna de estas dos condiciones. Además, al igual que ocurre para España, μ está más próxima a 0 que a -1.

La siguiente cuestión que nos planteamos es el análisis de la relación de causalidad entre las variables. Para ello, el cuadro 11 presenta los resultados del test de exogeneidad débil de Hendry (1995).

A partir del cuadro 11, podemos concluir que para Alemania y Francia se corroboran los resultados que se obtuvieron para España, confirmándose la hipótesis de retroalimentación entre el PIB y el KS con el consumo de energía no renovable, es decir, el uso de energía no renovable incide en el crecimiento y en el desarrollo y viceversa. Por otra parte, la hipótesis de

CUADRO 10. *Exogeneidad débil*^a

Y_t	ED	Retardos	β_1	β_2	$H_0: \beta_1 = \beta_2$ ^b	Contraste de normalidad de los residuos ^c	μ	$H_0: \mu = 0$ ^d
Alemania								
PIB	3	1	0.547*** (10.172)	2.690*** (6.340)	14.850***	17.683***	-0.092	5.745**
KS	2	2	0.710*** (4.742)	6.193*** (5.156)	9.037***	7.544	-0.099	0.252
Francia								
PIB	1	1	0.026 (0.058)	3.496** (2.484)	1.276	8.661	-0.021	4.044**
KS	1	3	0.337* (1.838)	2.242** (2.245)	0.608	4.943	-0.430	5.464**
CO ₂	2	1	-0.347*** (-3.196)	1.115*** (5.198)	7.506***	4.135	-0.538	7.371***
Italia								
PIB	2	2	1.507*** (4.028)	1.501** (2.053)	0.000	5.340	-0.068	6.774***
Reino Unido								
PIB	3	4	0.271*** (7.084)	2.159*** (6.371)	12.464***	13.348**	0.003	0.002
KS	3	4	0.143 (0.998)	2.294** (2.227)	2.031	2.052	-0.182	9.483***
CO ₂	3	3	-0.018*** (3.273)	0.095* (1.652)	4.404**	3.392	-0.411	3.271*

^a Entre paréntesis figura el estadístico t . ED: especificación determinística: Modelo 1: ni tendencia ni constante en la ecuación de cointegración (EC) o el VAR; Modelo 2: con constante pero no tendencia en la EC (no constante en el VAR); Modelo 3: constante pero no tendencia en la EC y el VAR.

^b El estadístico se distribuye como una $\chi^2(1)$.

^c La hipótesis nula es la normalidad de los residuos. Los resultados corresponden al estadístico Jarque-Bera que se distribuye como una $\chi^2(6)$. Se emplea el método de ortogonalización de Cholesky.

^d El estadístico se distribuye como una $\chi^2(1)$.

***, **, * Se rechaza la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

CUADRO 11. *Exogeneidad débil*

Y_t	Alemania		Francia		Italia		Reino Unido	
	$H_0: \phi_2 = 0$	$H_0: \phi_3 = 0$	$H_0: \phi_2 = 0$	$H_0: \phi_3 = 0$	$H_0: \phi_2 = 0$	$H_0: \phi_3 = 0$	$H_0: \phi_2 = 0$	$H_0: \phi_3 = 0$
PIB	0.000	15.931***	1.673	3.791**	0.400	0.513	18.372***	1.106
KS	1.026	7.594***	0.228	3.024*			5.117**	0.145
CO ₂			0.486	4.770**			7.739***	12.383***

***, **, * Rechazo de la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

crecimiento entre las variables de crecimiento y desarrollo y el consumo de energía renovable, se verifica para ambos países y para Italia, por lo que un mayor consumo de renovables repercute en el crecimiento y en el desarrollo, pero estos últimos no tienen efecto en el primero. Asimismo, en cuanto a la contaminación, se ratifican las conclusiones obtenidas para el consumo de no renovables, indicando un *feed-back* entre ellas. Por lo tanto, se sugiere la necesidad de mantener los apoyos públicos a la energía renovable si se quiere caminar hacia una economía sostenible a largo plazo. Estos resultados se confirman en gran parte por los test de exogeneidad fuerte que aparecen en los cuadros A4 y A5 del apéndice.

Los resultados para el Reino Unido son divergentes, como también muestra el test de exogeneidad fuerte, aunque son resultados que hay que tomar con cautela, dado que las condiciones para la bondad del ajuste de la estimación en la que se incluye el PIB no se verificaban para el Reino Unido.

Por último, para verificar la robustez de los resultados, realizamos un análisis de cointegración en panel para la relación entre el PIB, el consumo de energía renovable y no renovable, ya que son las variables para las que se ha encontrado evidencia de relación a largo plazo para todos los países individualmente. Hemos considerado por una parte un panel con los cinco países objeto de estudio y, por otra, un panel en el que se excluyen los datos para España. Como paso previo, analizamos la estacionariedad de ambos paneles. Para ello, empleamos los test de Maddala y Wu (1999), Levin, Lin y Chu (2002) e Im, Pesaran y Shin (2003).¹² Los resultados obtenidos corroboran lo que se obtuvo para cada serie individual: no se rechaza la existencia de raíz unitaria para las series en nivel, pero sí se rechaza ampliamente la hipótesis de raíz unitaria para las tres variables expresadas en primeras diferencias.¹³

El análisis de cointegración se realiza siguiendo a Pedroni (2004). Este autor propone 11 test basados en la estimación de los residuos de la ecuación de cointegración hipotética. Los 11 estadísticos pueden clasificarse en dos grupos. En ambos casos, la hipótesis nula es la no existencia de cointegración. El primer grupo son estadísticos de panel, basados en el enfoque

¹² En los tres test la hipótesis nula es la no estacionariedad. Difieren en la hipótesis alternativa. El test de Levin, Lin y Chu (2002) supone que el término autorregresivo es homogéneo a lo largo del panel, mientras que los otros dos test consideran que el término autorregresivo puede diferir entre los individuos que componen el panel. Para la elección del número de retardos óptimo, hemos utilizado el criterio de Akaike.

¹³ Los resultados están disponibles previa petición a los autores.

de la dimensión intragrupos. En este caso, la hipótesis alternativa considera que el parámetro autorregresivo de los residuos de la relación de cointegración es igual para todos los individuos. El segundo son estadísticos de grupo, basados en el enfoque entre-grupos. Ahora, la hipótesis alternativa permite la heterogeneidad en el parámetro autorregresivo de los residuos de la ecuación de cointegración entre individuos.

El cuadro 12 recoge los resultados de la cointegración en panel. Como puede apreciarse, los resultados no difieren si se excluye a España del panel. Además, no hay una evidencia contundente de relación a largo plazo entre las tres variables consideradas y los resultados dependen en gran parte de la especificación de la relación de cointegración. No obstante, si suponemos que hay diferencias importantes entre los países, podemos dar una mayor relevancia a los estadísticos de grupo. Bajo este supuesto, la evidencia es más favorable hacia la existencia de cointegración en ambos paneles, lo que

CUADRO 12. *Cointegración en panel*

Especificación		Panel: Alemania, España, Francia, Italia, Reino Unido		Panel: Alemania, Francia, Italia, Reino Unido		
		Estadístico	Estadístico ponderado	Estadístico	Estadístico ponderado	
Con intercepto individual	Estadísticos de panel	v	-1.300	-1.321	-1.236	-1.321
		ρ	0.200	0.344	0.295	0.383
		PP	1.481*	-1.362*	1.118	-1.091
	Estadísticos de grupo	ADF	-1.206	-1.180	-1.083	-1.060
		ρ	0.529		0.480	
		PP	-1.960**		-1.607*	
ADF	-1.553*		-1.351*			
Con intercepto individual y tendencia individual	Estadísticos de panel	v	23.441***	23.511***	19.253***	19.989***
		ρ	1.009	0.900	0.710	0.667
		PP	0.774	0.380	0.411	0.097
	Estadísticos de grupo	ADF	-1.317*	-1.920**	-1.305*	-1.889**
		ρ	1.579		1.192	
		PP	0.320		-0.248	
ADF	-1.865**		-1.896**			
Sin intercepto ni tendencia	Estadísticos de panel	v	-0.609	-0.675	-0.650	-0.674
		ρ	-1.882**	-1.776**	-2.343***	-1.956**
		PP	-3.248***	-3.253***	-3.501***	-3.265***
	Estadísticos de grupo	ADF	-3.554***	-3.454***	-3.493***	-3.270***
		ρ	-1.171		-1.799**	
		PP	-3.699***		-4.397***	
ADF	-3.758***		-4.366***			

***, **, * rechazo de la hipótesis nula de ausencia de cointegración a 1, 5 y 10% de significación respectivamente.

implica que las series comparten la misma tendencia estocástica a largo plazo. De esta forma, se verifican los resultados obtenidos individualmente y las implicaciones de política económica que se derivan de los mismos.

CONCLUSIONES

La amenaza del cambio climático, la dependencia de las importaciones energéticas y el carácter finito de los recursos fósiles han provocado una preocupación generalizada sobre la energía en lo que a la seguridad del suministro se refiere, y a los impactos ambientales asociados a su producción y consumo, por lo que muchos países han aumentado las inversiones en fuentes de energía renovable como parte de la solución a estos problemas, y desde las Naciones Unidas se ha hecho especial hincapié en que los gobiernos actúen en aras de conseguir un crecimiento y desarrollo sostenibles.

Este trabajo ha evaluado en primer lugar la sostenibilidad del modelo de crecimiento y desarrollo económico de la economía española en el periodo 1980-2010, mediante el análisis de la relación a largo plazo entre el crecimiento económico, el desarrollo económico y la contaminación con el consumo de energía renovable y no renovable. Tras un proceso de selección de variables, se han utilizado el PIB y la FBC, para medir el crecimiento, el IDH y el KS, para el desarrollo, las emisiones de CO₂ para la contaminación y el consumo de energía renovable en el sistema eléctrico y el consumo de petróleo para el consumo de energía renovable y no renovable, respectivamente. En segundo lugar, se han comparado los resultados obtenidos para la economía española con las cuatro economías más grandes de la Unión Europea: Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido. Dada la disponibilidad de datos, para estos países se ha usado el PIB, el capital social, las emisiones de CO₂ para la contaminación y el consumo de energía renovable en el sistema eléctrico y el consumo de petróleo.

Las principales conclusiones de nuestro artículo pueden sintetizarse de la siguiente manera: en primer lugar, para los cinco países analizados los resultados apuntan hacia un impacto positivo, tanto del consumo de energía renovable como no renovable sobre el crecimiento y el desarrollo, observándose un impacto mayor de las energías no renovables. Como era de esperar, para los tres países en los que se han incluido las emisiones de CO₂ en el análisis (España, Francia y el Reino Unido), el consumo de energías

renovables reduce la contaminación, mientras que el de no renovables la aumenta, observándose, además, un impacto asimétrico; es decir, el efecto reductor de las renovables es menor que el efecto contaminante de las no renovables. Por lo tanto, para conciliar el objetivo de crecimiento con el de reducción de la contaminación parece conveniente aceptar la idea de que la sostenibilidad precisa unas tasas de crecimiento y desarrollo más moderadas. En segundo lugar, para España, Alemania y Francia se aprecia un proceso de retroalimentación entre el consumo de no renovables y el crecimiento y el desarrollo, que no se observa con el consumo de energía renovable, es decir, que el modelo de crecimiento de esos países por sí solo estimula el consumo de energía no renovable, pero no el de las renovables. Esto apunta hacia el requerimiento en el diseño de políticas medioambientales y energéticas que estimulen la sustitución de energía no renovable por renovable, puesto que el modelo energético actual parece conducir al protagonismo de las no renovables y, por lo tanto, a la degradación ambiental. Los resultados para Italia son algo más optimistas, puesto que no se encuentra evidencia de la hipótesis de retroalimentación entre el PIB y el consumo de energía no renovable, pero tampoco entre el PIB y el consumo de renovables, por lo que en este caso los resultados también sugieren la necesidad del apoyo de políticas para avanzar hacia un modelo económico sostenible.

APÉNDICE

1. *Legislación española sobre política energética relativa a las renovables*

- Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que integró el Régimen Especial, regulado en el Real Decreto 661/2007, del 25 de mayo por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, y que garantiza a los titulares de instalaciones en régimen especial una retribución razonable, especialmente en aquellas tecnologías que aún precisan un impulso por su limitado desarrollo, para así alcanzar los objetivos del PER.
- Orden ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia.
- Real Decreto ley 6/2009, por el que se establece el registro de preasignación de retribución para las instalaciones del régimen especial.
- Real Decreto 1955/2000, que rige procedimientos de autorización.
- Real Decreto 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión junto a sus instrucciones técnicas complementarias.

- Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, en materia de aguas.
- Ley 9/2006 y el Real Decreto Legislativo 1/2008 en lo que respecta a la regulación en materia ambiental.
- Orden ITC/2877/2008, por la que se establece un mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte.
- Real Decreto 1578/2008, referente a la retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.
- Real Decreto 1565/2010, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 1614/2010, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoelectrica y eólica.
- Real Decreto-ley 14/2010, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.
- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, que incluye, en su Artículo 78, los objetivos nacionales mínimos en materia de ahorro y eficiencia energética y energías renovables.

2. Principales hitos legislativos de la Unión Europea en materia energética

- Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que se centró en la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes renovables de energía en el mercado de la electricidad en la UE, e indica la necesidad fundamental establecer objetivos vinculantes nacionales, donde los objetivos para la UE fueron duplicar la proporción de energías renovables en el consumo bruto de energía final en Europa de 6 a 12% en 2010 y establecer un objetivo de alcanzar 22% de la electricidad la producción de RES en el año 2010, en comparación con 14.5% en 1999.
- El Libro Blanco promueve este tipo de energía sobre la base de la seguridad y la diversificación de los suministros de energía, protección del medio ambiente, la reducción de costes y la promoción de la cohesión social.
- Comunicación de la Comisión al Consejo Europeo y al Parlamento Europeo, de 10 de enero de 2007, “Una política energética para Europa” [COM (2007)], establece como fundamentos de su política energética la respuesta a verdaderos retos energéticos, tanto en lo que se refiere a la sostenibilidad y a las emisiones de gases de efecto invernadero, como a la seguridad del suministro y a la dependencia respecto de sus importancias, sin olvidar la competitividad y la plena realización del mercado interior de la energía.

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- En 2008 aparece el Paquete de Energía y Cambio Climático de la Unión Europea que plantea la disminución del consumo energético y el aumento del peso de las energías renovables, y después se publica la Directiva Europea 2009/28/CE relativa al fomento de las energías procedentes de fuentes renovables, en la que se marcan tres objetivos obligatorios para el año 2020: disminución en 20% de la emisión de gases de efecto invernadero, disminución de 20% del consumo de energía primaria mediante la eficiencia energética y alcanzar una cuota global de 20% de energías renovables en el consumo final bruto de energía y un objetivo de 10% para las energías renovables en el transporte, en la que además se establece que los estados miembros que no pueden cumplir sus objetivos, puede importar excedentes de energía renovable a partir de otros países que han cumplido y superado sus objetivos.
- Comunicación de la CE “Energía 2020. Una estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura” (COM, 2010), que establece una nueva estrategia energética para la UE y sienta las bases de futuras comunicaciones y desarrollos normativos. Esta nueva estrategia plantea cinco líneas de actuación prioritarias: *i*) alcanzar una Europa energéticamente eficiente; *ii*) construir un mercado de energía integrado; *iii*) alcanzar el nivel más alto posible de seguridad energética; *iv*) extender el liderazgo de Europa en innovación y tecnología energética, y *v*) fortalecer la dimensión exterior del mercado energético europeo.

3. Estadística descriptiva

CUADRO A1. *Estadística descriptiva. España*

	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
PIB real	74.2	20.7	47.3	108.7
FBC	64.3	25.1	31.8	112.5
Inversión Bruta	167478.9	68624.5	81001.7	299663.0
Stock capital productivo	907738.6	367748.8	449719.8	1600495.3
Empleo horas	27141.2	5031.4	20957.7	36518.6
IDH	0.7	0.1	0.6	0.8
Capital social	307.7	314.7	73.4	1182.4
Emisiones CO ₂	271.2	63.9	195.0	386.9
Consumo renovables en electricidad	38.4	17.5	19.6	97.9
Consumo de petróleo	2.6	0.6	1.8	3.4

CUADRO A2. *Estadística descriptiva. Alemania, Francia, Italia y Reino Unido*

	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>PIB real</i>				
Alemania	86.4	14.7	63.6	108.3
Francia	82.4	14.8	60.1	104.8
Reino Unido	74.8	19.7	46.6	106.3
Italia	85.4	12.9	64.1	103.9
<i>Capital social</i>				
Alemania	73.1	17.6	27.2	100.0
Francia	84.8	18.0	62.0	113.1
Reino Unido	75.7	40.3	23.5	148.0
Italia	102.5	29.4	71.2	168.1
<i>Emisiones CO₂</i>				
Alemania	912.3	85.3	758.2	1058.3
Francia	396.2	29.0	340.3	488.9
Reino Unido	577.6	22.3	516.2	613.6
Italia	416.6	37.6	346.3	472.2
<i>Renovables</i>				
Alemania	41.7	26.5	20.7	109.6
Francia	67.8	7.3	47.8	80.6
Reino Unido	10.5	7.1	3.9	27.1
Italia	48.5	8.6	34.6	78.6
<i>No renovables</i>				
Alemania	5.7	0.3	5.0	6.5
Francia	4.0	0.2	3.6	4.8
Reino Unido	3.5	0.2	2.9	3.8
Italia	3.8	0.2	3.2	4.1

4. Resultados del test de cointegración y test de exogeneidad fuerte

En el cuadro A3 se recogen los resultados en los que se acepta que existe una relación de cointegración. En el resto de los casos, para el número de retardos óptimos se rechaza la existencia de al menos una relación de cointegración para las cuatro

CUADRO A3. *Test de cointegraciones*

<i>País</i>	<i>Estadísticos</i>	<i>Traza</i>			<i>Valor propio máximo</i>		
		<i>r = 0</i>	<i>r ≤ 1</i>	<i>r ≤ 2</i>	<i>r = 0</i>	<i>r ≤ 1</i>	<i>r ≤ 2</i>
Alemania	PIB, ER, ENR	35.574***	9.860	0.110	25.714**	9.750	0.110
	KS, ER, ENR	36.916**	15.390	4.537	21.525*	10.853	4.537
Francia	PIB, ER, ENR	23.781**	7.981	1.696	15.800*	6.285	1.696
	KS, ER, ENR	24.653**	7.973	0.000	16.679*	7.793	0.000
	CO ₂ , ER, ENR	37.115**	17.517	7.424	19.598	10.093	7.424
Italia	PIB, ER, ENR	41.586***	19.190	6.459	22.395**	12.731	6.459
Reino Unido	PIB, ER, ENR	38.143***	10.319	0.876	27.824***	9.442	0.876
	KS, ER, ENR	45.953***	9.769	0.877	36.183***	8.891	0.877
	CO ₂ , ER, ENR	58.981***	15.008	2.462	43.882***	12.545	2.462

***, ** Se rechaza la hipótesis nula (ausencia de cointegración) a 1 y 5% de significación respectivamente. El número de retardos y la especificación determinística se recogen en el cuadro 10.

CUADRO A4. *Exogeneidad fuerte. Alemania y Francia*

Dirección de la causalidad	País	Estadístico $\chi^2(k)$				
		Alemania		Francia		
		H_0	$Y = PIB$	$Y = KS$	$Y = PIB$	$Y = KS$
ER \rightarrow Y	$\lambda_i = 0$	0.797	0.020	0.623	3.081	1.159
ENR \rightarrow Y	$\gamma_i = 0$	2.049	3.354	0.000	2.978	0.731
ER, ENR \rightarrow Y	$\lambda_i = \gamma_i = 0$	2.513	3.791	0.627	5.121	1.338
Y \rightarrow ER	$\delta_i = 0$	0.446	1.125	2.918*	12.388***	0.705
Y \rightarrow ENR	$\psi_i = 0$	3.509*	3.360	4.335**	1.627	0.023

***, **, * Rechazo de la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

CUADRO A5. *Exogeneidad fuerte. Italia y Reino Unido*

Dirección de la causalidad	País	Estadístico $\chi^2(k)$			
		Italia	Reino Unido		
		H_0	$Y = PIB$	$Y = PIB$	$Y = KS$
ER \rightarrow Y	$\lambda_i = 0$	5.492*	5.175	7.304	8.002**
ENR \rightarrow Y	$\gamma_i = 0$	5.626**	0.524	6.853	4.578
ER, ENR \rightarrow Y	$\lambda_i = \gamma_i = 0$	9.984**	5.723	23.389***	10.867*
Y \rightarrow ER	$\delta_i = 0$	6.407**	22.897***	2.385	13.835***
Y \rightarrow ENR	$\psi_i = 0$	4.273	1.456	6.415	9.116**

***, **, * Rechazo de la hipótesis nula a 1, 5 y 10% de significación, respectivamente.

especificaciones determinísticas: ni tendencia ni constante en la ecuación de cointegración (EC) o el VAR, con constante, pero no tendencia en la EC (no constante en el VAR), constante pero no tendencia en la EC y el VAR y, por último, constante y tendencia en la EC (no tendencia en el VAR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajmi, A. N., S. Hammoudeh, D. K. Nguyen y J. Sato (2015), "On the Relationships between CO2 Emissions, Energy Consumption and Income: The Importance of Time Variation", *Energy Economics*, vol. 49, pp. 629-638.
- Apergis, N., y J. E. Payne (2009), "Energy Consumption and Economic Growth in Central America: Evidence from a Panel Cointegration and Error Correction Model", *Energy Economics*, vol. 31, núm. 2, pp. 211-216.
- , J. E. Payne, K. Menyah y Y. Wolde-Rufael (2010), "On the Causal Dynamics between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth", *Ecological Economics*, vol. 69, núm. 11, pp. 2255-2260.
- , y J. E. Payne (2010a), "Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from a Panel of OECD Countries", *Energy Policy*, vol. 38, núm. 1, pp. 656-660.

- Apergis, N., y J. E. Payne (2010b), "Renewable Energy Consumption and Growth in Eurasia", *Energy Economics*, vol. 32, núm. 6, pp. 1392-1397.
- , y J. E. Payne (2010c), "The Emissions, Energy Consumption, and Growth Nexus: Evidence from the Commonwealth of Independent States", *Energy Policy*, vol. 38, núm. 1, pp. 650-655.
- , y J. E. Payne (2011), "The Renewable Energy Consumption-Growth Nexus in Central America", *Applied Energy*, vol. 88, núm. 1, pp. 343-347.
- , y J. E. Payne (2012), "Renewable and Non-Renewable Energy Consumption-Growth Nexus: Evidence from a Panel Error Correction Model", *Energy Economics*, vol. 34, núm. 3, pp. 733-738.
- , y C. Foon (2013), "Is the Energy-Led Growth Hypothesis Valid? New Evidence from a Sample of 85 Countries", *Energy Economics*, vol. 38, pp. 24-31.
- , y D. Constantine (2014), "Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from the Sign of Panel Long-Run Causality", *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 4, núm. 4, pp. 578-587.
- Belke, A., F. Dobnik y C. Dreger (2011), "Energy Consumption and Economic Growth: New Insights into the Cointegration Relationship", *Energy Economic*, vol. 33, núm. 5, pp. 782-789.
- Bellumi, M. (2009), "Energy Consumption and GDP in Tunisia: Cointegration and Causality Analysis", *Energy Policy*, vol. 37, núm. 7, pp. 2745-2753.
- Bildirici, M. (2013), "Economic Growth and Biomass Energy", *Biomass and Bioenergy*, vol. 50, pp. 19-24.
- Bozkurt, C., y M. A. Destek (2015), "Renewable Energy and Sustainable Development Nexus in Selected OECD Countries", *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 5, núm. 2, pp. 507-514.
- Cheng, B. S. (1999), "Causality between Energy Consumption and Economic Growth in India: An Application of Cointegration and Error-Correction Modeling", *Indian Economic Review*, vol. 34, núm. 1, pp. 39-49.
- Cheng-Lang, Y., H. P. Lin y C. H. Chang (2010), "Linear and Non-Linear Causality between Sectoral Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Taiwan", *Energy Policy*, vol. 38, núm. 11, pp. 6570-6573.
- Cheung, Y. W., y K. S. Lai. (1995), "Lag Order and Critical Values of a Modified Dickey-Fuller Test", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 57, núm. 3, pp. 411-419.
- Chiou-Wei, S. Z., C. F. Chen y Z. Zhu (2008), "Economic Growth and energy Consumption Revisited. Evidence from Linear and Nonlinear Granger Causality", *Energy Economics*, vol. 30, núm. 6, pp. 3063-3076.
- Ciarreta, A., y A. Zarraga (2010), "Economic Growth-Electricity Consumption Causality in 12 European Countries: A Dynamic Panel Data Approach", *Energy Policy*, vol. 38, núm. 7, pp. 3790-3796.

- Dickey, D. A., y W. A. Fuller (1981), "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Econometrica*, vol. 49, núm. 4, pp. 1 057-1 072.
- Eggoh, J. C., C. Bangake y C. Rault (2011), "Energy Consumption and Economic Growth Revisited in African Countries", *Energy Policy*, vol. 39, núm. 11, pp. 7 408-7 421.
- Engle, R. F., y C. W. J. Granger (1987), "Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing", *Econometrica*, vol. 55, núm. 2, pp. 251-276.
- Esseghir, A., y L. Haouaoui (2014), "Economic Growth, Energy Consumption and Sustainable Development: The Case of the Union for the Mediterranean Countries", *Energy*, vol. 71, pp. 218-225.
- Fuinhas, J. A., y A. C. Marques (2012), "Energy Consumption and Economic Growth Nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: an ARDL Bounds Test Approach (1965-2009)", *Energy Economics*, vol. 34, núm. 2, pp. 511-517.
- Ghali, K., y M. El-Sakka (2004), "Energy Use and Output Growth in Canada: A Multivariate Cointegration Analysis", *Energy Economics*, vol. 26, núm. 2, pp. 225-238.
- Halicioglu F. (2009), "An Econometric Study of CO₂ Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey", *Energy Policy*, vol. 37, núm. 3, pp. 1 156-1 164.
- Hendry, D. (1995), *Dynamic Econometrics*, Inglaterra, Oxford University Press.
- Huang, B. N., M. J. Hwang y C. W. Yang (2008), "Causal Relationship between Energy Consumption and GDP Growth Revisited: a Dynamic Panel Data Approach", *Economic Letters*, vol. 67, núm. 1, pp. 41-54.
- Im, K. S., M. H. Pesaran y Y. Shin (2003), "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, vol. 115, núm. 1, pp. 53-74.
- Johansen, S. (1988), "Statistical Analysis of Cointegrated Vectors", *Journal of Economic Dynamic and Control*, vol. 12, núms. 2-3, pp. 231-244.
- (1992), "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in a Gaussian Vector Autoregressive Models", *Econometrica*, vol. 59, núm. 6, pp. 1 551-1 581.
- Kanagawa M., y T. Nakata (2008), "Assessment of Access to Electricity and the Socio-Economic Impacts in Rural Areas of Developing Countries", *Energy Policy*, vol. 36, núm. 6, pp. 2 016-2 029.
- Kazar, G., y A. Kazar (2014), "The Renewable Energy Production-Economic Development Nexus", *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 4, núm. 2, pp. 312-319.
- Kraft, J., y A. Kraft (1978), "On the Relationship between Energy and GNP", *Journal of Energy and Development*, vol. 3, núm. 2, pp. 401-403.
- Kwiatkowski, D., P. C. B. Phillips, P. Schmidt y Y. Shin (1992), "Testing the Null Hypothesis of Stationary against the Alternative of a Unit Root", *Journal of Econometrics*, vol. 54, núms. 1-3, pp. 159-178.
- Lean, H. H., y R. Smyth (2010), "CO₂ Emissions, Electricity Consumption and Output in ASEAN", *Applied Energy*, vol. 87, núm. 6, pp. 1 858-1 864.

- Lee, C. (2006), "The Causality Relationship between Energy Consumption and GDP in G-11 Countries Revisited", *Energy Policy*, vol. 34, núm. 9, pp. 1 086-1 093.
- Leitao, N. (2014), "Economic Growth, Carbon Dioxide Emissions, Renewable Energy and Globalization", *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 4, núm. 3, pp. 391-399.
- Levin, A., C. Lin y C. J. Chu (2002), "Unit Root Tests in Panel Data: Asymptotic and Finite-Sample Properties", *Journal of Econometrics*, vol. 108, núm. 1, pp. 1-24.
- Leybourne, S. J. (1995), "Testing for Unit Roots Using Forwards and Reverse Dickey-Fuller Regressions", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 57, núm. 5, pp. 559-571.
- Maddala, G. S., y S. Wu (1999), "A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 61, núm. 51, pp. 631-652.
- Martinez D., y B. Ebenhack (2008), "Understanding the Role of Energy Consumption in Human Development through the Use of Saturation Phenomena", *Energy Policy*, vol. 36, núm. 4, pp. 1 430-1 435.
- Mazur, A. (2011), "Does Increasing Energy or Electricity Consumption Improve Quality of Life in Industrial Nations?", *Energy Policy*, vol. 39, núm. 5, pp. 2 568-2 572.
- Menegaki, A.N. (2011), "Growth and Renewable Energy in Europe: a Random Effect Model with Evidence for Neutrality Hypothesis", *Energy Economics*, vol. 33, núm. 2, pp. 257-263.
- , y I. Ozturk (2013), "Growth and Energy Nexus in Europe Revisited: Evidence from a Fixed Effects Political Economy Model", *Energy Policy*, vol. 61, pp. 881-887.
- Narayan, P., y A. Prasad (2008), "Electricity Consumption - Real GDP Causality Nexus: Evidence from a Bootstrapped Causality Test for 30 OECD Countries", *Energy Policy*, vol. 36, núm. 2, pp. 910-918.
- Niu S., Y. Jia, W. Wang, R. He, L. Hu y Y. Liu (2013), "Electricity Consumption and Human Development Level: A Comparative Analysis Based on Panel Data for 50 Countries", *Electric Power Energy System*, vol. 53, pp. 338-347.
- Ouedraogo, N. S. (2013), "Energy Consumption and Human Development: Evidence from a Panel Cointegration and Error Correction Model", *Energy*, vol. 63, pp. 28-41.
- Ozturk, I., y A. Acaravci (2010a), "The Causal Relationship between Energy Consumption and GDP in Albania, Bulgaria, Hungary and Romania: Evidence from ARDL Bound Testing Approach", *Applied Energy*, vol. 87, núm. 6, pp. 1 938-1 943.
- , y A. Acaravci (2010b), "On the Relationship between Energy Consumption, CO₂ Emissions and Economic Growth in Europe", *Energy*, vol. 35, núm. 12, pp. 5 412-5 420.
- , A. Aslan y H. Kalyoncu (2010), "Energy Consumption and Economic Growth Relationship: Evidence from Panel Data for Low and Middle Income Countries", *Energy Policy*, vol. 38, núm. 8, pp. 4 422-4 428.

- Pantula, S. G. (1989), "Testing for Unit Roots in Time Series Data", *Econometric Theory*, vol. 5, núm. 2, pp. 256-271.
- Pao, H., y H. Fu (2013), "Renewable Energy, Non-Renewable Energy and Economic Growth in Brazil", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 381-392.
- Payne, J. E. (2009), "On the Dynamics of Energy Consumption and Output in the US", *Applied Energy*, vol. 6, núm. 4, pp. 575-577.
- Pedroni, P. (2004), "Panel Cointegration: Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis", *Econometric Theory*, vol. 20, núm. 3, pp. 597-625.
- Phillips, P. C. B., y P. Perron (1988), "Testing for a Unit Root in Time Series Regression", *Biometrika*, vol. 75, núm. 2, pp. 335-346.
- Pirlogea, C. (2012), "The Human Development Relies on Energy. Panel Data Evidence", *Procedia Economics and Finance*, vol. 3, pp. 496-501.
- , y C. Cicea (2012), "Econometric Perspective of the Energy Consumption and Economic Growth Relation in European Union", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, núm. 8, pp. 5718-5726.
- Sadorsky, P. (2009a), "Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies", *Energy Policy*, vol. 37, núm. 10, pp. 4021-4028.
- (2009b), "Renewable Energy Consumption, CO₂ Emissions and Oil Prices in the G7 Countries", *Energy Economics*, vol. 31, núm. 3, pp. 456-462.
- Shafiei, S., A. R. Salim y H. Cabalu (2013), "The Nexus between Energy Consumption and Economic Growth in OECD Countries: A Decomposition Analysis", disponible en <http://www.murdoch.edu.au/School-of-Management-and-Governance/document/-Australian-Conference-of-Economist/The-nexus-between-energy-consumption-and-economic-growth.pdf>
- , y R. Salim (2014), "Non-Renewable and Renewable Energy Consumption and CO₂ Emissions in OECD Countries: a Comparative Analysis", *Energy Policy*, vol. 66, pp. 547-556.
- Soytas, U., y R. Sari (2003), "Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets", *Energy Economics*, vol. 25, pp. 33-37.
- , R. Sari y B. T. Ewing (2007), "Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States", *Ecological Economics*, vol. 62, pp. 482-489.
- , y R. Sari (2009), "Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Emissions: Challenges Faced by an EU Candidate Member", *Ecological Economics*, vol. 68, núm. 6, pp. 1667-1675.
- Stern, D. I. (1993), "Energy and Economic Growth in the USA: A Multivariate Approach", *Energy Economics*, vol. 15, núm. 2, pp. 137-150.
- Tugcu, C. T., I. Ozturk y A. Asla (2012), "Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Economic Growth Relationship Revisited: Evidence from G7 Countries", *Energy Economics*, vol. 34, pp. 1942-1950.

- Yildirim, E., S. Saraç y A. Aslan (2012), “Energy Consumption and Economic Growth in the USA: Evidence from Renewable Energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, núm. 9, pp. 6770-6774.
- Yu, E., y J. Choi (1985), “Casual Relationship between Energy and GNP: An International Comparison”, *Journal of Energy and Development*, vol. 10, núm. 2, pp. 249-272.
- Zilio, M., y M. A. Caraballo (2014), “¿El final de la curva de Kuznets de carbono? Un análisis semiparamétrico para la América Latina y el Caribe”, *El Trimestre Económico*, vol. LXXXI, núm. 321, pp. 241-270.