

**XI ENCUENTRO DE ECONOMÍA APLICADA
SALAMANCA, 5-6-7 DE JUNIO DE 2008**

Determinantes de la oferta de energías renovables en la UE

RESUMEN

A pesar de las actuaciones promovidas por la Comisión Europea para cumplir el compromiso contraído en el Protocolo de Kyoto, y de las medidas que fomentan el desarrollo y la difusión de nuevas tecnologías para disminuir las emisiones de CO₂, todavía no se observa una reducción significativa de las mismas.

¿Por qué no se utilizan masivamente las energías alternativas a las procedentes de combustibles fósiles? Este trabajo trata de responder esta cuestión basándose en un análisis de los determinantes la oferta de energías renovables. Aplicando la metodología de datos de panel se estima una relación de oferta que incluye el precio de las energías fósiles y las emisiones de CO₂ como indicador de la necesaria renovación tecnológica en la producción de electricidad. La muestra considerada comprende 25 países de la Unión Europea durante el periodo 1990-2004.

Código JEL: Q42, Q41, L94

Autoras: Aurelia Bengochea y Oretó Faet

Dirección: Departament d'Economia. Universitat Jaume I.

12071 Castelló. T/964728590. Fax 964728591.

E-mail: bengoche@eco.uji.es; oretoff@yahoo.com

1.- INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos de la Unión Europea (UE) por diversificar las fuentes de abastecimiento energético son sobradamente conocidos. Lograr un alto grado de autoabastecimiento y evitar la excesiva dependencia de los suministros exteriores es una cuestión estratégica de vital importancia en la política comunitaria. A tal fin se han dirigido programas como ALTENER y otras actuaciones más recientes cuya meta es alcanzar los objetivos contemplados en la Directiva 2001/77/EC sobre la promoción de la electricidad procedente de fuentes renovables.

Por otra parte, también es sobradamente conocido el compromiso adquirido por la UE en Kioto (y ratificado en 2002) referente a la reducción de las emisiones de gases causantes del efecto invernadero; concretamente una disminución del 8% en 2008-2012 respecto a los niveles de 1990. Siendo que actualmente el volumen de CO₂ lanzado a la atmósfera supone el 80% de los gases causantes del efecto invernadero, reducir significativamente las emisiones de este gas en la UE contribuiría enormemente a conseguir uno de los objetivos prioritarios de la política ambiental comunitaria.

La mayoría del CO₂ procede de la quema de combustibles fósiles que son el recurso energético fundamental que sustenta la actividad económica de los países industrializados, entre los que se encuentran evidentemente los países miembros de la UE. Por todo ello, extender el uso de las energías procedentes de fuentes renovables en la UE, supondría un doble beneficio: por una parte, disminuiría su dependencia del exterior y por otra, mejoraría la calidad ambiental. Es más, como afirman Coenraads y Voogt (2006), fomentar el uso de energías renovables en la UE favorece la adopción de nuevas tecnologías y el surgimiento de nuevos negocios. Sin embargo, a pesar de las actuaciones promovidas por la Comisión Europea para cumplir el compromiso contraído en el Protocolo de Kyoto y de las medidas que fomentan el desarrollo y la difusión de nuevas tecnologías para disminuir las emisiones de CO₂, todavía no se observa una reducción significativa de las mismas. La pregunta inmediata es ¿por qué no se utilizan masivamente las energías alternativas a las procedentes de combustibles fósiles? ¿Quizá falta apoyo por parte del sector público? ¿Les cuestan más caras a los consumidores? ¿Existen barreras para su expansión?

En el seno de la UE no se puede aducir la falta de apoyo del sector público para justificar el reducido porcentaje que las energías renovables representan respecto del

total. La UE ha apostado decididamente por apoyar públicamente la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, aunque la Directiva 2001/77/EC deja a los estados miembros la elección de los instrumentos a emplear para tal fin. Los más habituales son las cuotas, los certificados de origen y la intervención en el sistema de tarifas, bien garantizando la compra a un precio dado, bien otorgando una prima adicional al precio de mercado (puede consultarse al respecto Comisión Europea, 2005). Tal como se desprende del compendio realizado por Reiche (2005), todos los estados miembros apoyan en mayor o menor medida la difusión de las energías renovables. El hecho de ser líderes o seguidores, según afirman Eikeland y Sæverud (2007), depende de la importancia que cada gobierno dé a la promoción de las energías renovables como solución conjunta a ciertos problemas nacionales (seguridad energética, objetivos de reducción de emisiones, creación de puestos de trabajo, etc.).

Los argumentos que justifican el apoyo gubernamental a las energías renovables son de diversa índole. Por ejemplo, Coenraads y Voogt (2006) recuerdan que los costes externos asociados al consumo de combustibles fósiles no están incluidos en su precio de mercado, justificando así el apoyo público a las energías renovables para mejorar su situación competitiva en los mercados convencionales. Por su parte, Awerbusch y Sauter (2006) destacan el efecto negativo que tiene sobre el PNB la subida de los precios del petróleo y estiman que cada kilowatio adicional proveniente de fuentes renovables evita pérdidas en el PNB del orden de 250 a 450 dólares. Desde la perspectiva del bienestar colectivo, Strand (2007) destaca tres argumentos que justifican el apoyo público a las renovables: la reducción de emisiones que se conseguiría, la seguridad energética y, por último, el efecto beneficioso que los esfuerzos en I+D y las economías de aprendizaje pueden tener en la reducción de los costes de producción de la generación de electricidad.

En relación al posible sobrecoste que la expansión de las nuevas energías puede suponer para los consumidores, Hurber y Morthorst (2003) afirman que este incremento de precio podría quedar compensado con el descenso del precio de las energías convencionales. En esa misma línea se sitúan Jensen y Skytte (2003) al concluir que el efecto de un aumento de las energías renovables sobre el coste energético total (fuentes convencionales y renovables) es ambiguo.

Por último, la respuesta a la cuestión de si existen barreras para la expansión de las energías renovables es claramente afirmativa ya que, en general, los mercados de

electricidad tienden a estar concentrados. David y Wen (2001) encuentran evidencia de poder de mercado en varios mercados eléctricos donde prevalecen las fuentes energéticas convencionales frente a las renovables (v.g. California, Reino Unido, Australia). En el caso de la UE, un estudio presentado a la Dirección General de la Competencia (London Economics, 2007), muestra que los mercados eléctricos están, en general, concentrados, aunque existen diferencias entre países. Reino Unido, por ejemplo, presenta poca concentración mientras que Francia y Bélgica tienen mercados altamente concentrados. En un término medio se sitúan España, Alemania y los Países Bajos.

Las razones por las que en los mercados eléctricos predominan los oligopolios son de diversa índole: a) Tanto la generación como la distribución de energía eléctrica comparten las características de un monopolio natural; b) Las barreras de entrada son altas porque la industria energética es capital intensiva y los costes hundidos son muy elevados; c) La demanda es inelástica y sujeta a variaciones estacionales.

En el caso de la Unión Europea, a pesar de la liberalización del mercado eléctrico iniciada ya hace más de una década con la Directiva 96/92/EC¹, existen condiciones estructurales que justifican la concentración de mercado y que podrían derivar en un abuso de la posición dominante². Este hecho, en sí mismo, ya justificaría la intervención pública en estos mercados, favoreciendo la implantación de las energías renovables y aumentando así el grado de competencia. Held et al (2006), en la revisión que realizan de los instrumentos empleados por la administración pública para promover la expansión de las energías renovables en la UE, insisten en la credibilidad del sistema de promoción como factor condicionante de nuevas inversiones. Según estos autores, el horizonte temporal de la política promocional emprendida debería ser suficientemente largo para atraer potenciales inversores, independientemente de los instrumentos concretos utilizados.

En resumen, si no falta apoyo por parte del sector público ni está demostrado que la electricidad proveniente de fuentes renovables les cueste más cara a los consumidores,

¹ Derogada posteriormente por la Directiva 2003/54/CE.

² No obstante, el artículo 82 del Tratado de la Comunidad Europea no prohíbe la posición dominante sino su abuso en un mercado específico. Ejemplos de comportamiento abusivo definidos por el art. 82 relativos a los mercados eléctricos son:

- a) La capacidad de imponer precios injustos u otras condiciones comerciales.
- b) Limitar la producción, mercado o desarrollo técnico en perjuicio de los consumidores.
- c) Aplicar condiciones diferentes a equivalentes transacciones.

¿por qué no se utilizan masivamente las energías alternativas a las procedentes de combustibles fósiles?

Contrariamente a la mayoría de los estudios publicados sobre consumo energético, que se centran en el lado de la demanda, este trabajo trata de responder esta cuestión basándose en el lado de la oferta. Concretamente, se analizan los determinantes de la oferta de energías renovables para un conjunto de 15 países de la Unión Europea durante el periodo 1990-2004. El trabajo se estructura del siguiente modo: tras este apartado introductorio, en el apartado 2 se comenta brevemente la política energética comunitaria y la situación de las energías renovables en los estados miembros de la UE. El apartado 3 describe la relación de oferta formulada. En el apartado 4 se expone la metodología y los datos empleados en el análisis empírico y se comentan los resultados obtenidos. Finalmente, el quinto apartado presenta las principales conclusiones.

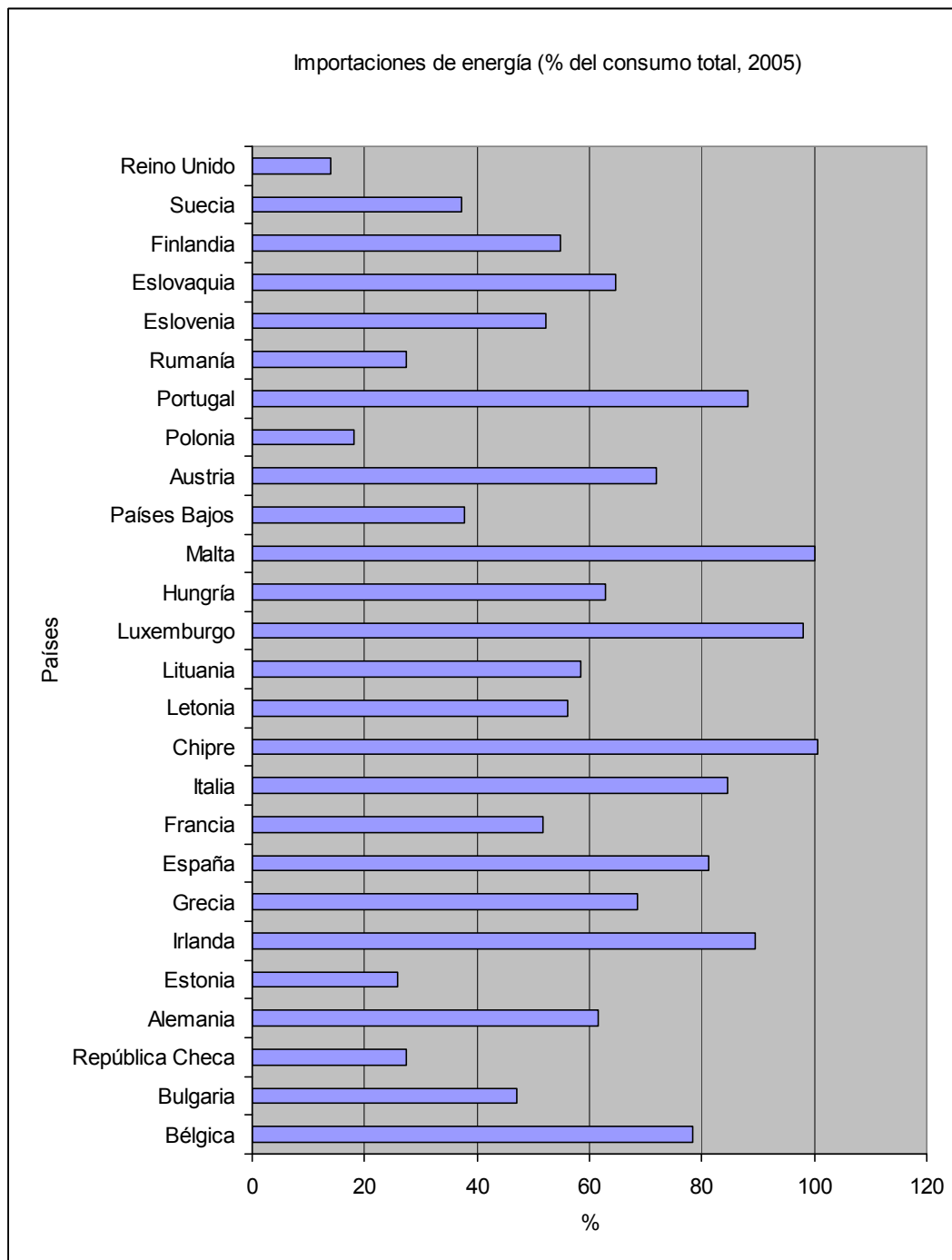
2.- LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN LA UNIÓN EUROPEA

La UE presenta un alto grado de dependencia energética del exterior. Salvo Dinamarca (que exporta energía), el resto de países son importadores netos, como se ilustra en el gráfico 1. En conjunto, más de la mitad de la energía consumida en la UE es importada. En el año 2005, por ejemplo, el porcentaje de energía importada en la UE respecto de su consumo final se situó en un 52,3%. Esta dependencia se agrava con la poca diversificación de los proveedores (la mitad del gas consumido procede de tres países: Rusia, Argelia y Noruega). Por otra parte, como ya se ha mencionado, la UE se comprometió a reducir las emisiones causantes del efecto invernadero, ocasionadas en su mayoría por la quema de combustibles fósiles.

Por estas razones, la política energética de la UE en las últimas décadas se ha centrado en tres grandes líneas: 1) aumento de la eficiencia energética, 2) desarrollo de la energía procedente de fuentes renovables y 3) diversificación de los proveedores exteriores.

El Libro Blanco de 1997 sobre fuentes de energía renovables establecía para el año 2020 un objetivo indicativo del 12% en la contribución de estas fuentes al consumo bruto de energía en la UE.

Gráfico 1: Porcentaje de energía importada en la UE (% del consumo total en 2005)



Fuente: Comisión Europea (2007)

En el Libro Verde del año 2000 *“Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético”*, la Comisión ponía de relieve los riesgos vinculados al

aumento de la dependencia energética europea³ y su vulnerabilidad ante posibles subidas de los precios del petróleo. Asimismo, aludía a la falta de consenso político a favor de una política energética comunitaria que permitiera consolidar el mercado interior de la energía y luchar, simultáneamente, contra el cambio climático. El Libro Verde presentaba una estrategia energética a largo plazo, en la cual la UE:

- proponía reequilibrar la política de la oferta a través de acciones en la demanda: controlar el crecimiento de la demanda, impulsando el ahorro energético y fomentar las energías renovables financiando su desarrollo con cargo a las energías rentables.
- planteaba el papel que podía desempeñar a medio plazo la energía nuclear y
- establecía un dispositivo reforzado de reservas estratégicas, así como nuevas rutas de importación de hidrocarburos.

En el informe final sobre este Libro Verde (Comisión Europea, 2002), se decía que la mayoría de los agentes compartían la estrategia propuesta de controlar la demanda mediante el aumento de la eficiencia energética. En esta línea se enmarcan las propuestas de la Comisión en ese periodo, en particular la directiva sobre la producción de electricidad mediante fuentes renovables, la directiva sobre la eficiencia y el ahorro energético en los edificios, así como las propuestas reglamentarias y fiscales para la promoción de los biocarburantes.

La Directiva para promover las energías renovables se promulgó en 2001 (Directiva 2001/77/CE, más conocida por el acrónimo E-FER). En aquel momento, el porcentaje de electricidad proveniente de fuentes renovables representaba el 15,2% del consumo total en la UE (Comisión Europea, 2004). En 2005, este porcentaje era incluso menor (ver tabla 1). La Directiva fijaba para 2010 un objetivo del 21% para la electricidad generada mediante fuentes renovables⁴ y abordaba cinco áreas principales:

1. el establecimiento de objetivos nacionales para el consumo de electricidad verde
2. la evaluación de los planes nacionales de apoyo a los productores de electricidad verde

³ De continuar las tendencias observadas, el Libro Verde pronosticaba una dependencia de la importación de energía del 70% en el año 2030.

⁴ Inicialmente el objetivo era 22,1% para la UE-15 pero pasó a ser 21% para la UE-25.

3. la adopción de las medidas necesarias para garantizar la aplicación de normas transparentes y el trato no discriminatorio a los productores de electricidad verde que traten de conectarse a la red de distribución de electricidad nacional
4. el establecimiento de garantías de origen de la electricidad verde que sean objeto de un reconocimiento mutuo y
5. la simplificación de los procedimientos administrativos para los nuevos productores.

Tabla 1: Electricidad procedente de fuentes renovables
(% de la producción total, 2005)

<i>País</i>	%
Austria	57,9
Suecia	54,3
Letonia	48,4
Rumanía	35,8
Dinamarca	28,2
Finlandia	26,9
Eslovenia	24,2
Eslovaquia	16,5
Portugal	16,0
España	15,0
Italia	14,1
EU-27	14,0
Bulgaria	11,8
Francia	11,3
Alemania	10,5
Grecia	10,0
Países Bajos	7,5
Irlanda	6,8
Hungría	4,7
Chequia	4,5
Reino Unido	4,3
Lituania	3,9
Luxemburgo	3,2
Polonia	2,9
Bélgica	2,8
Estonia	1,1
Chipre	0,0
Malta	0,0

Fuente: Comisión Europea (2007)

En 2006, se promulgó la Directiva sobre servicios energéticos (Directiva 2006/32/CE). Esta norma obliga a los estados miembros a elaborar planes nacionales de acción para la eficiencia energética pero tras la primera evaluación de los planes presentados, se constata un desfase entre el compromiso político en pro de la eficiencia energética y las propuestas apuntadas para hacerla realidad (Comisión Europea, 2008a).

En enero de 2007, la Comisión propuso un paquete global de medidas para establecer una nueva política energética para Europa que impulsara la seguridad energética y la competitividad de la UE, al tiempo que contribuyera a frenar el cambio climático. Los objetivos fijados para la expansión de las energías renovables y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero eran bastante ambiciosos (20% en 2020, principalmente a través de medidas energéticas). Las propuestas formuladas por la Comisión incluían también una serie de medidas encaminadas a crear un auténtico mercado interior de la energía y a reforzar la regulación. Estas medidas tenían como objetivo central la transformación de la economía europea en una economía baja en carbono. Esta meta se asentaba en tres pilares: el aumento de la eficiencia energética, la extensión de las energías procedentes de fuentes renovables y el desarrollo del mercado único de la energía en la UE. En relación a este último punto, ya existen propuestas legislativas que separan la generación de electricidad de las redes de transporte y suministro, que facilitan el comercio energético transfronterizo y que fomentan la colaboración y la inversión transfronterizas.

En resumen, la Comisión Europea ha adoptado un planteamiento global en el que la cuestión energética se aborda conjuntamente con la seguridad y diversificación del suministro y con las medidas de lucha contra el cambio climático. Este modelo de política energética integrada ha recibido el respaldo de los jefes de estado y de gobierno en el Consejo Europeo de Primavera de marzo de 2007. Con el fin de dar cumplimiento al objetivo aprobado en este Consejo (en el año 2020, un 20% de la energía de consumida en la UE ha de provenir de fuentes renovables), se está elaborando una nueva directiva para promover la difusión de las energías renovables. El borrador de la directiva no concreta las cuotas de cada estado miembro pero establece las directrices a seguir en la fijación de las metas particulares, las provisiones para el uso de la

certificación de origen renovable de la energía y los criterios de sostenibilidad para la producción de biocombustibles⁵.

Los criterios a seguir por todos los estados miembros, en cuanto a porcentajes de energías renovables, son los siguientes:

- En 2014, el porcentaje de uso de energías renovables en cada país miembro debe ser al menos la cantidad empleada en 2005 más el 51% del objetivo para 2020.
- Para 2016, la cifra debe aumentar hasta el 66% del objetivo de 2020.
- En 2018, los países miembros deben haber alcanzado un 83% de su objetivo fijado para 2020.
- En 2012, el porcentaje de participación de los biocombustibles en el sector transporte tendrá que ser un 6,5% en el conjunto de los estados miembros.

Los estados miembros fijarán sus objetivos nacionales vinculantes para el uso de energías renovables en la calefacción y refrigeración. Asimismo, serán los responsables de asignar los certificados de garantía de origen a aquellos productores de calefacción o electricidad que lo hagan a partir de fuentes renovables. Estos certificados podrán ser objeto de compra-venta entre los países de la UE con el fin de poder cumplir los objetivos previamente establecidos en energías renovables.

En caso de que un país no cumpla sus objetivos provisionales en las fechas señaladas, la Comisión podrá dictaminar que ese estado transfiera los certificados de garantía de origen a nuevos participantes de otros países miembros. En tal caso, estos nuevos participantes tendrán derecho a recibir el mismo apoyo institucional que los productores nacionales de energías renovables domiciliados fiscalmente en ese país, siempre y cuando estos participantes no sean o hayan sido beneficiarios de algún apoyo financiero, como pueden ser las primas.

El 23 de enero de 2008 la Comisión ha presentado un conjunto de propuestas para cumplir el compromiso del Consejo Europeo de luchar contra el cambio climático e impulsar la energía renovable (Comisión Europea, 2008b). Se incentivará a los principales responsables de las emisiones de CO₂ para que desarrollen tecnologías de

⁵ Estos criterios se refieren a la sostenibilidad ecológica. Los biocombustibles no podrán proceder de materias primas obtenidas de tierras que hasta enero de 2008 fueran bosques en los que no haya habido actividad humana significativa o áreas protegidas, a no ser que se certifique que la producción de biocombustible no interfiere en la protección ambiental.

producción no contaminantes a través de una profunda reforma del régimen comunitario de comercio de derechos de emisión. El mercado del carbono incluirá más gases de efecto invernadero (actualmente sólo está incluido el CO₂) y englobará a todos los principales emisores industriales. Los derechos de emisión que salgan al mercado irán disminuyendo año tras año hasta que las emisiones cubiertas por el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión se hayan reducido en 2020 en un 21% respecto a los niveles de 2005. En el sector eléctrico, la subasta de derechos de emisión será completa a partir de 2013. Otros sectores industriales, así como la aviación, aumentarán el sistema de subasta paulatinamente. Las subastas serán abiertas: cualquier operador de la UE podrá comprar derechos de emisión en cualquier Estado miembro. En sectores no incluidos en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión, como la construcción, el transporte, la agricultura y los residuos, la UE reducirá las emisiones en un 10 % por debajo de los niveles de 2005 de aquí a 2020. Para cada Estado miembro, la Comisión propone un objetivo específico.

En cuanto a las energías renovables, todos los Estados miembros deberán adecuar rápidamente la estructura de su consumo energético. Actualmente, las energías renovables suponen el 8,5% del consumo final de energía de la UE, cifra que queda lejos del 20 % previsto para 2020. Los objetivos que fija la Comisión son específicos para cada país y jurídicamente vinculantes (pueden consultarse en la Tabla 2); en cambio, las opciones para desarrollar las energías renovables varían de un Estado miembro a otro. Estas opciones se detallarán en los planes nacionales de acción que han de elaborar los Estados miembros y en los que deberán concretar cómo van a cumplir sus objetivos y cómo podrá realizarse un seguimiento eficaz de su progreso. Los Estados miembros estarán autorizados a apoyar las energías renovables fuera de sus propias fronteras; esto hará que la inversión se dirija allí donde las energías renovables puedan producirse de la forma más eficiente, con el consiguiente ahorro de costes para cumplir el objetivo.

El paquete presentado incluye también el uso de biocombustibles en el transporte: mínimo del 10 % en 2020. Este porcentaje es el mismo para todos los Estados miembros.

Tabla 2: Porcentaje de energías renovables en el consumo final de energía
(metas para 2020)

Países	Porcentaje fijado
Austria	34%
Bélgica	13%
Bulgaria	16%
Chipre	13%
Chequia	13%
Dinamarca	30%
Estonia	25%
Finlandia	38%
Francia	23%
Alemania	18%
Grecia	18%
Hungría	13%
Irlanda	16%
Italia	17%
Letonia	42%
Lituania	23%
Luxemburgo	11%
Malta	10%
Países Bajos	14%
Polonia	15%
Portugal	31%
Rumanía	24%
Eslovaquia	14%
Eslovenia	25%
España	20%
Suecia	49%
Reino Unido	15%

Fuente: Comisión Europea (2008b)

3.- EL MODELO

La teoría económica establece que la función de oferta de cualquier bien relaciona la cantidad que se estaría dispuesto a ofrecer con una serie de variables convencionales entre las que, además del precio del propio bien, figurarían el precio de bienes sustitutivos desde el punto de vista de la producción, la estructura de mercado en el que opera la empresa y otras variables tales como la tecnología o las expectativas empresariales. Por tanto, una función de oferta de energías renovables debería incluir, al menos, el precio de la electricidad procedente de estas fuentes y el precio de la energía procedente de fuentes convencionales. Sin embargo, para el consumidor no existe

diferencia de precios entre la electricidad proveniente de fuentes renovables y la procedente de combustibles fósiles ya que las compañías que operan en los mercados eléctricos ofrecen su producción a un único precio. En consecuencia, la relación de oferta que formulamos en este trabajo viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{OER} = a + b \cdot \text{PEF} + c \cdot \text{CO}_2 \quad [1]$$

donde

OER = Oferta de Energías Renovables

PEF = Precio de las energías fósiles

CO₂ = Emisiones de CO₂

La inclusión del precio de las energías fósiles en el modelo nos dará información sobre cómo el coste de las energías convencionales, la conflictividad que entraña su uso (reflejada a través de la volatilidad en los precios) y su agotamiento afecta a la disponibilidad de energías renovables. Si los mercados eléctricos funcionaran correctamente, la mera señal del encarecimiento de las energías fósiles y su volatilidad debería ser suficiente para fomentar la producción de las energías renovables. En consonancia con las premisas de teoría microeconómica, el precio mayorista de las energías convencionales en un mercado competitivo refleja el coste de oportunidad de usar fuentes alternativas de generación de energía de la manera más eficiente. Por otra parte, la estimación del coeficiente *b* nos daría información sobre la elasticidad precio cruzada de ambas modalidades energéticas. *A priori* cabría esperar que dicho coeficiente tuviera signo negativo, por el carácter sustitutivo que las energías renovables tienen frente a las convencionales, desde el punto de vista del productor, de manera que una subida en el precio de las energías fósiles conllevaría una disminución de la oferta de las renovables.

Incluimos las emisiones de CO₂ como explicativa en el modelo por la influencia que pueden ejercer en impulsar el cambio de modelo energético. Como es sabido, el aumento del CO₂ en la atmósfera está contribuyendo al cambio climático. Con el compromiso adquirido por la UE de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (expresadas en toneladas de CO₂), esta variable se convierte en un indicador de la necesidad de acelerar el uso de energías renovables. En este sentido, Huber y Morthorst (2003) destacan el papel que juega la imposición de techos de emisión de CO₂ en la promoción de las energías renovables. En general, como afirman

Horbach (2008) y Sáenz de Miera (2007), ésta y otras regulaciones gubernamentales impulsan la innovación en el sector, y juegan un importante papel en la expansión de las energías renovables. Si bien, la posibilidad de conseguir reducciones de emisiones ligadas a la materialización de proyectos basados en los mecanismos de desarrollo limpio y de aplicación conjunta, pueden frenar la expansión de las renovables, según apuntan del Río et al. (2005).

4.- ANÁLISIS EMPÍRICO

Los países considerados en el análisis empírico llevado a cabo son los que integraban la UE-15. El periodo analizado comprende 14 años (desde 1990 al año 2004). Los datos se han tomado de la base de datos *on-line* de la OCDE. La oferta de energías renovables está medida en Mtoe y comprende la oferta primaria de energía generada en plantas hidroeléctricas y geotermales, la energía eólica, la derivada de las olas y las mareas, la de origen solar, la obtenida de la biomasa y la producida en la combustión de residuos urbanos. Los precios de las energías procedentes de combustibles fósiles corresponden a los índices de precios finales de uso de la energía para la industria y los hogares. Esto incluye los productos derivados del petróleo, la electricidad, el gas natural gas, el carbón, la gasolina sin plomo, el diesel y el fuel-oil. Se han utilizado dos índices de precios, uno corresponde a precios nominales y otro, a precios reales. Las emisiones de CO₂ derivadas de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo y otros combustibles no renovables) están expresadas en Mtoe y han sido calculadas según la metodología del IPCC (International Panel on Climate Change)⁶.

El gráfico 2 muestra la evolución de la generación de electricidad procedente de fuentes renovables en el conjunto de países analizados. En general ha aumentado, especialmente en Alemania, Italia y España, aunque en algunos países el aumento ha sido moderado (Austria, Dinamarca, Finlandia, Suecia, Reino Unido) y prácticamente inexistente en el resto (Bélgica, Francia, Grecia, Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos y Portugal).

El gráfico 3 presenta la evolución que han seguido las emisiones de CO₂. Solo Alemania muestra un descenso, frente al resto de países que han incrementado sus emisiones, en algunos casos considerablemente, como Italia y España.

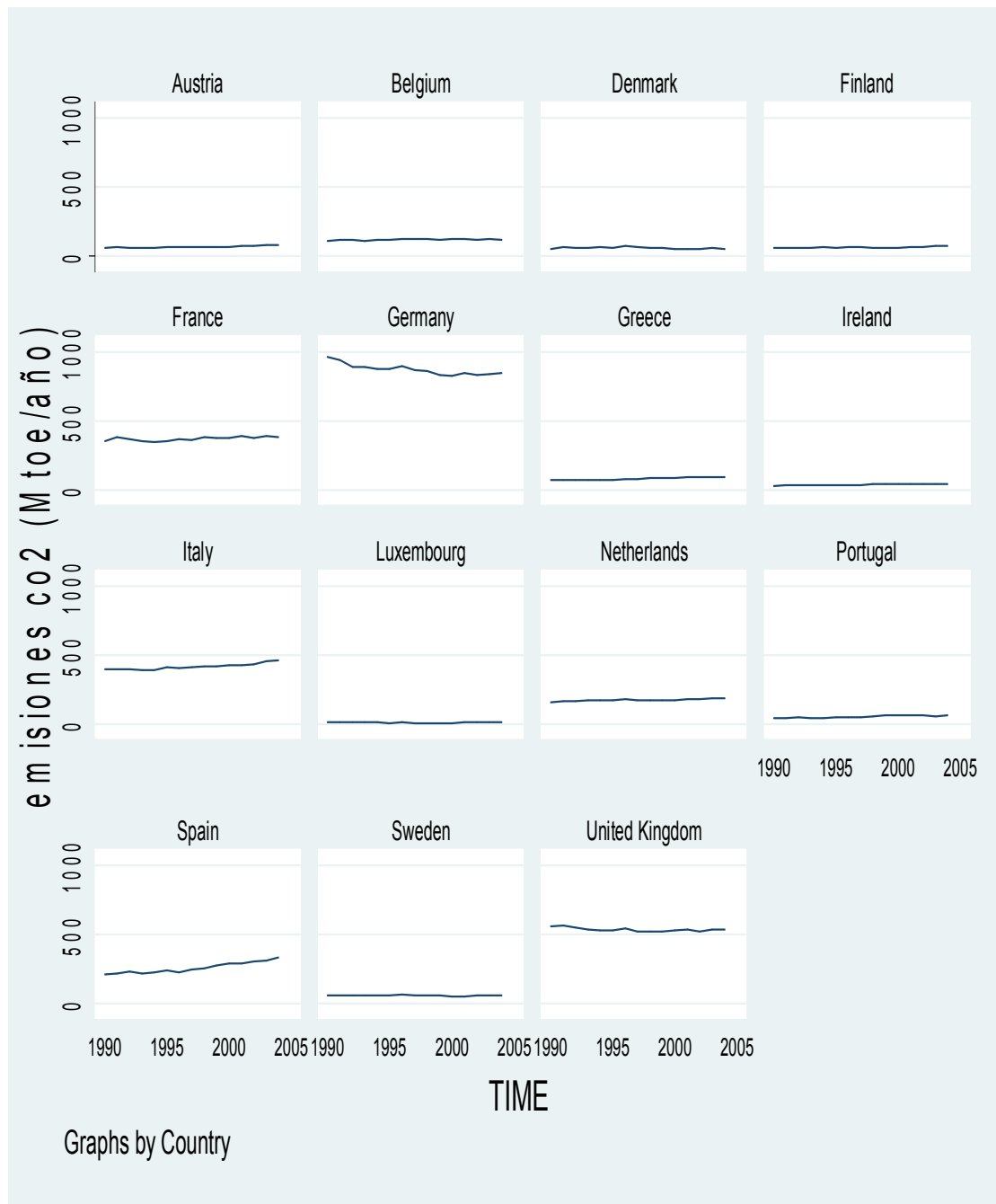
⁶ Tier 1, Sector Approach Emissions: el cálculo realizado en la aproximación sectorial incluye las emisiones del fuel solamente cuando éste es utilizado realmente como combustible.

Gráfico 2: Generación de electricidad mediante fuentes renovables en la UE-15



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Evolución de las emisiones de CO2 en la UE-15



Fuente: Elaboración propia

La evolución de los precios de las energías fósiles puede observarse en el gráfico 4 (precios nominales) y en el gráfico 5 (precios reales). Mientras que el índice de precios nominales ha seguido una tendencia alcista indiscutible en todos los países, el correspondiente a precios reales muestra comportamientos dispares difíciles de explicar.

Gráfico 4: Precio de las energías fósiles (precios nominales)

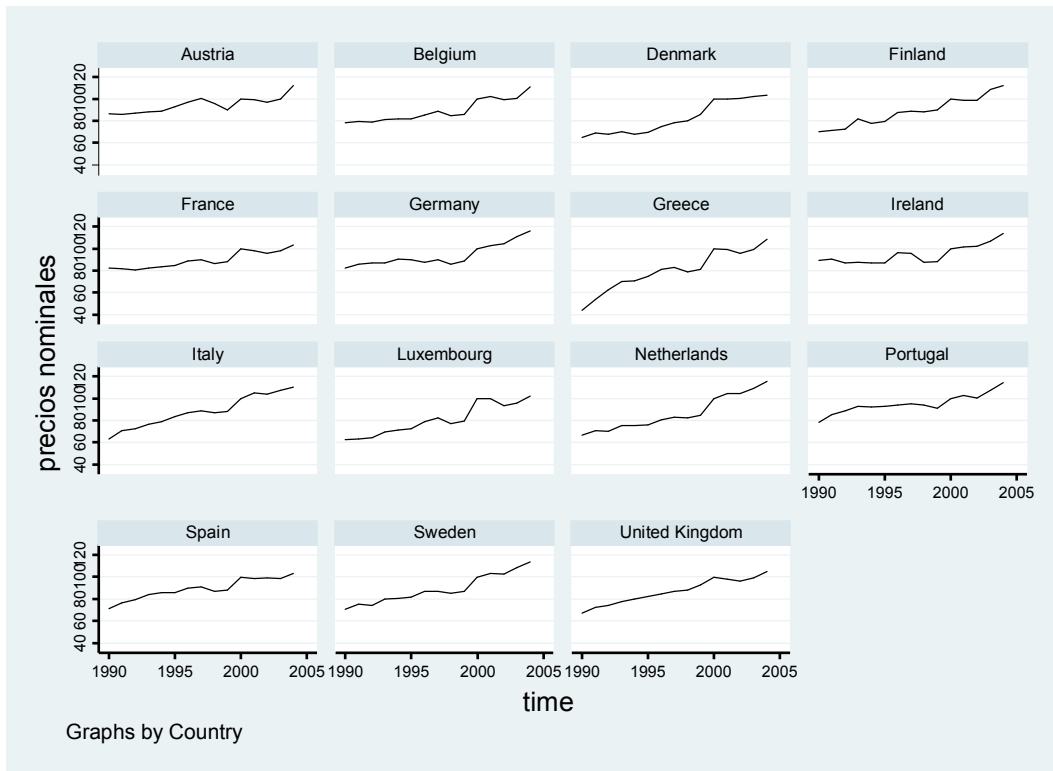
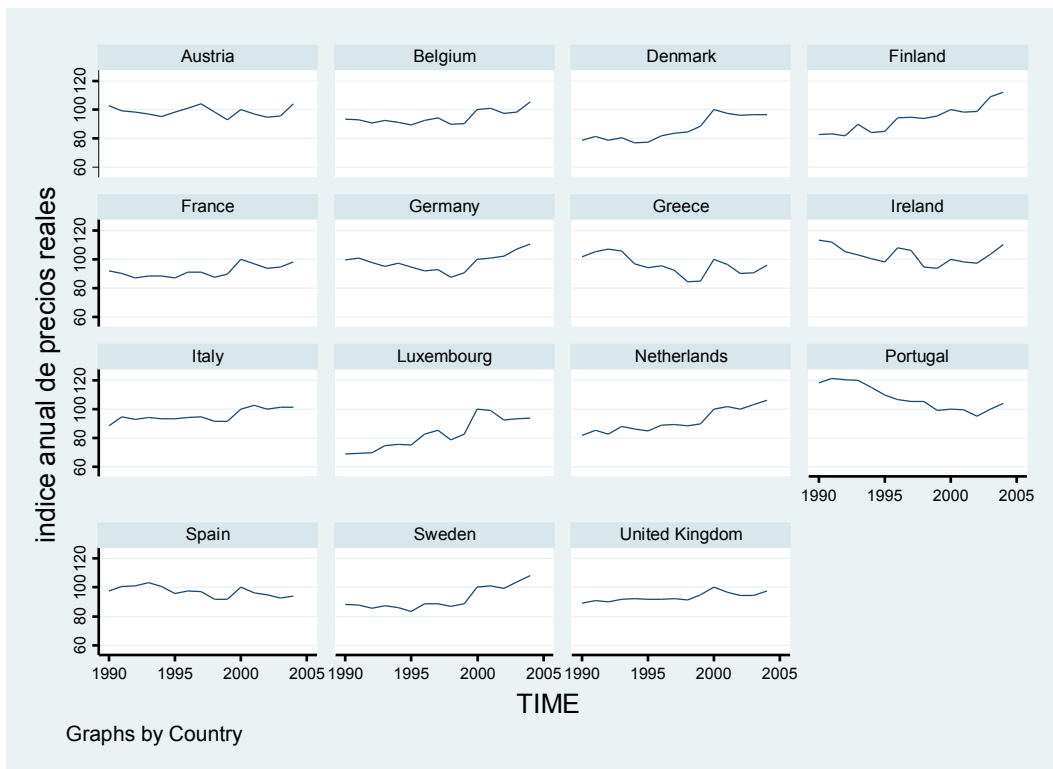


Gráfico 5: Precio de las energías fósiles (precios reales)



Para determinar cuál es la respuesta de la oferta de energías renovables a la degradación medioambiental (medida a través de las emisiones de CO₂) y al incremento y volatilidad de los precios de las energías fósiles en la UE-15 estimamos la ecuación [1] utilizando la metodología de datos de panel. La ventaja de esta técnica, como ponen de manifiesto Arellano (2003) o Hsiao (2003), es que permite captar la evolución de la variable estudiada considerando la heterogeneidad de cada país, lo cual supone una clara ventaja frente a otras aproximaciones basadas en técnicas de estática comparativa. El modelo empírico que hemos estimado se resume en la ecuación [2].

$$\ln OER = \beta_0 + \beta_1 \ln PEF_{it} + \beta_2 \ln CO2_{it-2} + \delta_i + v_{it} \quad [2]$$

El hecho de tomar logaritmos en la ecuación [1] nos permite obtener los cambios en las variables en términos relativos, de manera que los coeficientes β_1 y β_2 pueden ser interpretados directamente como elasticidades. β_1 es la elasticidad-precio cruzada de la oferta de energías renovables respecto del precio de las energías procedentes de combustibles fósiles; tal como se ha dicho, se espera que su signo sea negativo por el carácter sustitutivo que las energías renovables tienen frente a las convencionales. β_2 proporciona la elasticidad de la oferta de energías renovables respecto de las emisiones de dióxido de carbono; esta variable se ha desfasado dos periodos porque se ha considerado que se necesita un período mínimo de ajuste para que se produzca una respuesta de la oferta a la limitación de emisiones. δ_i recoge el efecto de las variables no observables características de cada país y que permanecen estables en el tiempo. Por último, el término v_{it} (perturbación aleatoria) recoge todos aquellos factores no incluidos en el modelo que influyen de alguna manera en el comportamiento de la variable endógena.

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados de las estimaciones. La variable dependiente en todos los casos ha sido la oferta de energías renovables (en logaritmos). Como explicativas se han incluido las emisiones de CO₂ desfasadas dos periodos y un índice de precios de las energías fósiles (nominal en el caso de los modelos de la tabla 3 y real para los que se presentan en la tabla 4). Se han empleado distintos métodos en la estimación: mínimos cuadrados ordinarios (OLS), panel con efectos fijos (FE), panel con efectos aleatorios (RE) y mínimos cuadrados generalizados factibles (FGLS).

Tabla 3: Determinantes de la oferta de energías renovables (precio fósiles nominal)

	OLS	FE	RE	FE + Time	FGLS	PCSE
constante	-12,91(-4,05)	-4,94(-9,22)	-5,26(-8,37)	1,84(1,53)	-	-
lco2_2	0,82(10,55)	0,13(1,30)	0,21(2,14)	-0,17(-1,54)	-0,066(-1,38)	-0,19(-1,49)
lpinominal	2,2(3,09)	1.15(15,38)	1,14(15,11)	0,19(0,98)	0,027(0,37)	0,085(0,57)
R ²	0,40	Within=0,58 Between=0,45 Overall=0,33	Within=0,58 Between=0,43 Overall=0,38	-	-	0,98
rho	-	0,99	0,99	-	-	0,65

Estadísticos *t* o *z* entre paréntesis.

OLS: Mínimos cuadrados ordinarios; FE: Efectos fijos; RE: Efectos aleatorios; FE + time: Estimación incluyendo efectos fijos individuales y temporales; PCSE: Estimación robusta a la heterocedasticidad (Panel corrected standard errors); FGLS: Mínimos cuadrados generalizados factibles.

Tabla 4: Determinantes de la oferta de energías renovables (precio fósiles real)

	OLS	FE	RE	FGLS	PCSE
constante	-17,57(-3,64)	-9,48(-8,22)	-9,56(-8,33)	-2,25(-1,82)	-
lco2_2	0,82(10,53)	0,78(5,71)	0,79(6,37)	0,54(7,99)	0,69 (6,8)
lpreal	3,2(3,00)	1,46(8,45)	1,47(8,59)	0,99(0,38)	0,23 (0,61)
R ²	0,40	Within=0,32 Between=0,39 Overall=0,39	Within=0,31 Between=0,39 Overall=0,39	-	0,28
rho	-	0,985	0,987	-	0,957

Estadísticos *t* o *z* entre paréntesis.

OLS: Mínimos cuadrados ordinarios; FE: Efectos fijos; RE: Efectos aleatorios; FGLS: Mínimos cuadrados generalizados factibles.

La primera columna presenta los estimadores MCO para todo el grupo. La estimación por MCO impone la misma constante y la misma pendiente para todos los países; aunque el R^2 del modelo no es excesivamente bajo (0,4), descartamos este supuesto tan restrictivo en favor de los resultados proporcionados por el modelo de efectos fijos o el de efectos aleatorios. Ambos permiten configurar una estructura más dinámica recogiendo los efectos a corto y largo plazo e incluir los efectos de variables individuales, no observables y constantes a lo largo del tiempo. Para discernir cuál se ajusta mejor a los datos, hemos aplicado el test de Hausman. En el modelo que contiene los precios nominales de las energías fósiles como explicativa, este test indica que el modelo de efectos fijos es preferible al de efectos aleatorios. Sin embargo, al sustituir esta explicativa por un índice de precios reales (Tabla 4), el resultado del test indica que no podemos rechazar la hipótesis de ortogonalidad entre los errores individuales y los regresores. Esto nos lleva a aceptar el modelo de efectos aleatorios, es decir, los efectos individuales inobservables no están correlacionados con los regresores sino que existe un efecto individual aleatorio no observable en el tiempo. La explicación podría deberse a la existencia de factores institucionales como el poder de mercado en los mercados eléctricos, el diferente grado de apoyo público a la difusión de renovables o a las diferencias en los sistemas de incentivos para promover este tipo de energía.

Una razón adicional que hace que nos pronunciemos finalmente por el modelo estimado con precios reales es que, al añadir las ficticias de tiempo al modelo de efectos fijos con precios nominales, las dos variables explicativas incluidas con anterioridad dejaban de ser significativas (véase la quinta columna de la tabla 3); posiblemente, la tendencia contenida en la serie de precios nominales quedaba captada en las *dummies* temporales. Para corregir los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación, hemos aplicado mínimos cuadrados generalizados factibles (FGLS, penúltima columna de las tablas) y la corrección de Prais-Winsten (PCSE, panels corrected standard errors, última columna de las tablas). Esta aproximación proporciona errores estándar más precisos que los obtenidos con FGLS y es la que finalmente tomamos como válida.

De las dos explicativas consideradas, solo se muestra significativa la variable referida a las emisiones de CO₂. El signo de su coeficiente coincide con lo esperado: es positivo. Esto significa que cuanto mayores son las emisiones de CO₂, mayor es la oferta de energías renovables, si bien el aumento es menos que proporcional (el coeficiente estimado es inferior a la unidad). Aunque inicialmente podría parecer que la oferta de

energías limpias debería de tener signo distinto al de las emisiones de CO₂, no hay que perder de vista el sentido de causalidad implícito en la regresión: es el aumento de CO₂ el que impulsa (como consecuencia de la regulación gubernamental) la adopción de energías limpias; cuanto mayores hayan sido las emisiones, mayor necesidad hay de recurrir a las energías renovables para no sobrepasar el límite de emisiones permitido.

En cuanto a los precios de las energías fósiles, no se muestran estadísticamente significativos. La causa quizá radique en que no son precios de libre mercado sino que están distorsionados por los incentivos que el sector público ofrece a las energías renovables y otras regulaciones administrativas. Al carecer de significatividad estadística, huelga hablar del signo positivo que presenta su coeficiente. No obstante, cabrían dos explicaciones complementarias para este resultado. Por una parte, podría pensarse que la energía procedente de fuentes renovables es un bien complementario de la energía convencional, desde el punto de vista del productor, en lugar de ser sustitutivo. Las compañías eléctricas podrían aprovechar las economías de alcance compaginando ambos tipos de generación de electricidad y de hecho, algunas compañías ya lo están haciendo. Por otra parte, cabría atribuir este signo a la poca flexibilidad de las actuales instalaciones de producción para funcionar con otra tecnología. Con frecuencia esta reconversión es totalmente imposible; por ejemplo, una central térmica no puede producir energía eólica. Estas limitaciones llevarían a una oferta inelástica ante las variaciones de precios, al menos en el corto plazo. Por último, siendo que no hay discriminación de precios para la energía en función de la fuente de procedencia, el precio de las energías fósiles es una *proxy* del precio de las energías verdes y, consecuentemente, el signo de esta variable es positivo, como correspondería a la variable precio del propio bien en una función de oferta convencional.

5.- CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado los determinantes de la oferta de energías renovables en la Unión Europea. Los países considerados son los que integraban la UE-15; el periodo de estudio abarca desde 1990 a 2004. Los datos proceden de la OCDE.

La expansión de las energías renovables en la UE constituye una cuestión estratégica que obedece a varios objetivos simultáneamente: seguridad energética, cumplimiento del compromiso adquirido en Kioto para frenar el cambio climático y fomento de

nuevas tecnologías, con su posible repercusión positiva en términos de crecimiento y empleo. La política energética de la UE en las últimas décadas se ha centrado en tres grandes líneas: 1) aumento de la eficiencia energética, 2) desarrollo de la energía procedente de fuentes renovables y 3) diversificación de los proveedores exteriores. Sin embargo, en la UE actual sigue predominando la energía obtenida de los combustibles fósiles que, por otra parte, importamos de unos pocos proveedores. Un análisis descriptivo de los datos recopilados revela que más de la mitad de la energía consumida en la UE es importada; solo Dinamarca exporta energía, el resto de países son importadores netos. Por otra parte, el porcentaje de electricidad verde se sitúa alrededor del 14% y el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables supone tan solo el 8,5% del consumo total, cifra alejada del objetivo del 20% previsto para 2020 aprobado en el Consejo Europeo de Primavera de 2007. Las emisiones de CO₂ no han disminuido tanto como se hubiera deseado y, además, se ha fijado el ambicioso objetivo de que en 2020 se hayan reducido un 20% respecto de los niveles alcanzados en 2005, objetivo que se espera conseguir básicamente con un drástico cambio en el modelo energético imperante.

Con el fin de conocer un poco más qué mecanismos contribuyen a la expansión de las energías alternativas a los combustibles fósiles, hemos formulado una función de oferta de energías renovables en la que se han tomado como variables explicativas el precio de las energías fósiles y las emisiones de CO₂. Incluimos esta última variable por la influencia que puede ejercer en impulsar el cambio de modelo energético. Como es sabido, existen unos límites de emisiones que difícilmente se alcanzarán si no se produce un cambio radical en la generación eléctrica; las emisiones de CO₂ se convierten de este modo en un indicador de la necesidad de acelerar el uso de energías renovables. La ecuación formulada se ha estimado en logaritmos para obtener directamente las elasticidades. Se ha aplicado la metodología de datos de panel y, tras efectuar los contrastes pertinentes, se ha llegado a la conclusión de que el modelo que mejor se ajusta a los datos es el de efectos aleatorios. Esto significa que los efectos individuales inobservables no están correlacionados con los regresores sino que existe un efecto individual aleatorio no observable en el tiempo. La explicación podría deberse a la existencia de factores institucionales como el poder de mercado en los mercados eléctricos, el diferente grado de apoyo público a la difusión de renovables o a las diferencias en los sistemas de incentivos para promover este tipo de energía.

Para corregir la heterocedasticidad, hemos seguido el método de Prais-Winsten (PCSE, *panels corrected standard errors*); esta aproximación proporciona errores estándar más precisos que los obtenidos con mínimos cuadrados generalizados factibles y es la que finalmente tomamos como válida. De las dos explicativas incluidas en la regresión, solo la variable referida a las emisiones de CO₂ se revela significativa. Su coeficiente tiene signo positivo, tal como se esperaba: un aumento en las emisiones de CO₂ conlleva un aumento de la oferta de energías renovables, aunque menos que proporcional (el coeficiente estimado es inferior a la unidad). En cuanto a los precios de las energías fósiles, no se muestran estadísticamente significativos. La causa quizá radique en que no son precios de libre mercado sino que están distorsionados por los incentivos que el sector público ofrece a las energías renovables y otras regulaciones administrativas.

No obstante, no está todo dicho. Posibles extensiones de este trabajo incluirían la estimación de un modelo dinámico y la segmentación de los países analizados en dos grupos, atendiendo a las emisiones generadas por unidad de PIB y a la intensidad energética. Un primer grupo lo constituirían Reino Unido, Holanda, Bélgica, Luxemburgo, Alemania, Finlandia, Grecia, Irlanda y Dinamarca, cuyas emisiones de CO₂ por unidad de PIB están por encima de la media europea; el segundo grupo estaría formado por España, Portugal, Italia, Austria, Suecia y Francia cuya ratio CO₂/PIB se sitúa por debajo de la media europea. Dejamos esta tarea para futuros desarrollos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano, M. (2003): *Panel Data Econometrics*. Oxford: Oxford University Press.
- Awerbuch, S.; Sauter, R. (2006): Exploiting the oil-GDP effect to support renewables deployment. *Energy Policy* 34, pp. 2805- 2819.
- Coenraads, R.J.A.C.; Voogt, M.H. (2006): Promotion of renewable electricity in the European Union. *Energy & Environment* 17 (6): 835-848.
- Comisión Europea (2000): Libro Verde de la Comisión “Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético”. COM (2000) 769.
- Comisión Europea (2002): Informe final sobre el Libro Verde “Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético”.
- Comisión Europea (2004): *Electricidad generada a partir de energías renovables*. Comisión Europea, Dirección General de Energía y Transportes, Bruselas.
- Comisión Europea (2005): *El apoyo a la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovable*. COM/2005/627.

- Comisión Europea (2007): *Europa: hechos y cifras clave*. Oficina de Publicaciones de la Comisión Europea, Luxemburgo.
- Comisión Europea (2008a): Nota sobre la primera evaluación de los planes nacionales de acción para la eficiencia energética. MEMO/08/32.
- Comisión Europea (2008b): Fomento del crecimiento y el empleo mediante el cumplimiento de los compromisos sobre el cambio climático. Press Releases IP/08/80.
- David, A.K.; Wen, F. (2001): Market Power in Electricity Supply. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 16 (4): 352-360.
- del Río, P.; Hernández, F.; Gual, M. (2005): The implications of the Kyoto project mechanisms for the deployment of renewable electricity in Europe. *Energy Policy* 33, pp. 2010- 2022.
- Eikeland, P.O.; Sæverud, I.A. (2007): Market Diffusion of New Renewable Energy in Europe: Explaining Front-Runner and Laggard Positions. *Energy & Environment* 18 (1): 13-36.
- Gual, M.; del Río, P. (2004): The promotion of green electricity in Europe: present and future. *European Environment*, 14(4): 219-234.
- Held, A.; Haas, R.; Ragwitz, M. (2006): On the Success of Policy Strategies for the Promotion of Electricity from Renewable Energy Sources in the EU. *Energy & Environment* 17 (6): 849-868.
- Hsiao, C. (2003): *Analysis of Panel Data*. Second edition, Cambridge: Cambridge University Press.
- Horbach, J. (2008): Determinants of Environmental Innovation – New Evidence from German Panel Data Sources. *Research Policy* 37 (1): 163-173.
- Huber, C.; Morthorst, P.E. (2003): Linking promotion strategies for RES-E and CO2 reduction in a liberalised power market: Is a simultaneous policy necessary? International Energy Workshop, Laxenburg, Austria.
- Jensen, S.G.; Skytte, K. (2003): Simultaneous attainment of energy goals by means of green certificates and emission permits. *Energy Policy* 31, 63-71.
- London Economics (2007): *Structure and Performance of Six European Wholesale Electricity Markets in 2003, 2004 and 2005*.
- Reiche, D. (editor) (2005): *Handbook of renewable energies in the European Union: Case studies of the EU-15 States*. Verlag Peter Lang Publisher.
- Sáenz de Miera, G. (2007): La regulación, clave para el desarrollo de las energías renovables. *Economía industrial*, 365, pp. 163-177.
- Strand, J. (2007): Energy Efficiency and Renewable Energy Supply for the G-7 Countries with Emphasis on Germany. IMF Working Paper WP/07/299.

Legislación

Directiva 96/92/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de diciembre de 1996, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.

Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de energías renovables.

Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Directiva 2003/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se deroga la Directiva 96/92/CE.

Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.