ESTUDIOS DE ECONOMÍA APLICADA VOL. 29-2 2011 PÁGS. 1–32

Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España

JOSÉ Mª CANTOS
Departamento de Economía Política y Hacienda Pública, E.E. y P.E., UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, ESPAÑA. E-mail: JoseMaria.Cantos@uclm.es

DANIEL BALSALOBRE LORENTE
Departamento de Economía Política y Hacienda Pública, E.E. y P.E., UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, ESPAÑA. E-mail: Daniel.Balsalobre@uclm.es

RESUMEN

El objetivo de este estudio consiste en la verificación del cumplimiento de la relación en forma de U-invertida entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental (Curva de Kuznets Ambiental –CKA–) para España, compatible con la incorporación de un patrón de consumo energético que relaciona el consumo de energía renovable con el consumo de energía convencional. Los resultados obtenidos confirman que, junto al crecimiento económico y la desigualdad (estudiada a través de la incorporación al modelo del índice de GINI), la regulación gubernamental basada en la promoción de energías renovables ha contribuido de forma efectiva a la corrección del deterioro medioambiental. Una consecuencia es que son necesarias las políticas ambientales para que incentiven los procesos de innovación tecnológica tendentes a la reducción de los costes de producción.

Palabras clave: Crecimiento, energías renovables, contaminación, políticas ambientales.

Renewable Energy in the Environmental Kuznets Curve: An Application to Spain

ABSTRACT

The aim of this study is the verification of compliance with Environmental Kuznets Curve for Spain, compatible with the addition of a pattern of energy consumption that links renewable energy consumption and conventional energy consumption. The results confirm that, along with economic growth and inequality (studied by incorporating the model GINI index), government regulation based on the promotion of renewable energy has contributed effectively to the correction of environmental damage. Consequently, environmental policies are needed to encourage technological innovation processes aimed at reducing production costs.

Keywords: Growth, Renewable Energy, Pollution, Environmental Policy.

Clasificación JEL: H23, O00, Q42, Q48

Artículo recibido en mayo de 2011 y aceptado en julio de 2011
Artículo disponible en versión electrónica en la página www.revista-eea.net, ref. ə-29216

ISSN 1697-5731 (online) – ISSN 1133-3197 (print)

1. INTRODUCCIÓN

El impacto medioambiental de los gases de efecto invernadero (GEI) ha sido una constante fuente de preocupación durante las últimas décadas por la amenaza que representa para la estabilidad climática, la biodiversidad, el bienestar y, en definitiva, para el desarrollo económico y social. La hipótesis de que las emisiones de GEI suponen un problema para el desarrollo económico ha quedado constatada a través de diversos estudios, de modo que los continuos incrementos que se han producido en la demanda energética habrían roto con el equilibrio entre las tasas de producción y de absorción natural de emisiones, con consecuencias negativas a nivel global.

Desde un prisma económico, la utilización y transformación de la energía como parte de la actividad económica y de la vida social, da lugar a una degradación del medio ambiente, constituyendo una externalidad negativa caracterizada porque un reducido grupo de productores impone un coste (en forma de perjuicio ambiental) a la sociedad. En este contexto, nos encontramos ante un modelo económico basado en la utilización y aprovechamiento energético dominado por fuentes contaminantes fósiles que producen un impacto negativo sobre un bien público que podemos denominar medio ambiente[1].

En el plano económico resulta indiscutible el impacto negativo que provocan las emisiones de GEI, generando externalidades negativas que se traducen en una aplicación incorrecta de los recursos económicos y medioambientales, impidiendo que el mercado, a través del precio, alcance una asignación eficiente de los recursos energéticos (LINARES, 2002)[2]. Además, con la aparición de externalidades, se arrastran efectos negativos sobre la elección óptima de la tecnología, debido a que, al no contemplarse los costes externos, se opta por tecnologías energéticas más baratas y contaminantes.

A partir de la situación descrita, una decidida estrategia adoptada ya por muchos de los países más desarrollados consiste en reducir la elevada dependencia energética de fuentes fósiles y promocionar las fuentes energéticas renovables, adoptando un nuevo modelo energético con menores niveles de emisión de GEI y con menor dependencia geoestratégica.

---

[1] En efecto, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2007), existe a nivel internacional un problema de escasez de suministro seguro -a un precio aceptable-, mientras que también aparece otro problema por el daño ambiental derivado de un consumo excesivo de combustibles fósiles. En algunos países donde rige el derecho anglosajón, podría ser factible establecer derechos de propiedad sobre el medio ambiente y, en consecuencia, internalizar los costes de los emisores. Sin embargo, en la mayoría de los países el espacio medioambiental es considerado como un bien público, correspondiendo esta tarea a la administración.

[2] Los precios de los bienes energéticos, como la electricidad, el gas natural o los productos petrolíferos, no recogen el coste del impacto ambiental que lleva asociado su producción.

2. LA CORRECCIÓN DE LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES A TRAVÉS DE LA PROMOCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Es de sobra reconocido que el sector energético resulta estratégico dentro de un sistema económico, dada su importante influencia en aspectos como la estructura de costes, el deterioro medioambiental o el equilibrio exterior. Por otro lado, la notable presencia de fallos de mercado en este sector constituye uno de los motivos admitidos por la teoría económica normativa para la intervención del sector público, bien estableciendo un adecuado régimen jurídico de derechos de propiedad que contemple todos los costes, bien asumiendo directamente la gestión de los procesos de internalización de los efectos externos, en ambos casos, con el objetivo de mejorar el entorno de riesgo e incertidumbre que genera la dependencia exterior y a corregir el deterioro medioambiental[3]. A este respecto, en las últimas décadas el aprovisionamiento de recursos energéticos en España adolece de una elevada dependencia de fuentes fósiles, lo que ha impulsado recientemente la adopción de varias medidas de eficiencia energética y, sobre todo, la promoción de fuentes energéticas renovables, en especial, en los subsectores eólico y solar fotovoltaico, respectivamente.

Hasta hoy, los productores de energía renovable no han sido capaces de competir en igualdad de condiciones de mercado con los productores de energía convencional, debido a sus mayores costes en planta[4]. A pesar de ello, son

[3] Como apunta STERN (2006), la inexistencia de un mercado consolidado requiere del apoyo institucional que le permita reducir las tasas de contaminación, ya que los costes medioambientales suelen estar infravalorados al concurrir multitud de efectos que, tradicionalmente, no han sido incorporados.

[4] La Administración de Información de Energía (EIA) estadounidense, en su Energy Outlook 2007, ha estimado el coste de construcción de una planta de generación de energía, por tipo de tecnología, bajo el supuesto de su implantación en 2006. Como puede observarse en la siguiente tabla, los procesos relacionados con la energía solar (térmica y fotovoltaica), son de los más costosos.

Tecnología	Año en línea	Coste ($/Kw)	Tecnología	Año en línea	Coste ($/Kw)	Tecnología	Año en línea	Coste ($/Kw)
Avanzada abierto turbina de gas de ciclo	2008	398	Avanzada de ciclo combinado con el secuestro	2010	1185	Geotérmica	2010	1880
Abierta convencional de turbina de gas de ciclo	2008	420	Viento	2009	1208	Avanzada nuclear	2011	2081
Avanzada gas / petróleo de ciclo combinado	2009	594	De carbón vegetal con depurador	2010	1290	Gasificación integrada en ciclo combinado c/ secuestro carbono	2010	2134
Convencionales de gas y petróleo de ciclo combinado	2009	603	Gasificación integrada en ciclo combinado	2010	1490	Solar térmica	2009	3149
La generación distribuida (para carga base)	2009	859	Convencionales de energía hidroeléctrica	2010	1500	De pila de combustible	2009	4520
La generación distribuida (carga máxima)	2008	1032	Biomasa	2010	1869	Fotovoltaica	2008	4751

razones de corte medioambiental las que sostienen la promoción de estas fuentes renovables[5]. La aplicación de medidas correctoras basadas en la promoción de las energías renovables provocan sinergias que, a medio plazo, podrían hacerlas competitivas, tanto en términos de costes como de eficiencia (MUÑOZ y MARQUEZ, 2009)[6]. Las energías renovables pueden erigirse en alternativa a los sistemas de producción energética convencional siempre que se estimule su anexión al modelo energético actual, pero teniendo en cuenta las limitaciones asociadas al grado en que una sociedad pueda asumir la internalización de los costes de las emisiones (ALFRANCA, 2009), ya que cualquier regulación medioambiental supone un sobrecoste inicial que deberá asumir la sociedad en su conjunto (AGOSTINI y PADILLA, 2010). En este sentido, en el corto plazo la promoción de energías renovables suele generar un impacto negativo sobre el precio final de la electricidad y, en consecuencia, sobre el sistema económico, al margen de que puedan contribuir favorablemente a la descarbonización en el sector eléctrico (DEL RÍO, LABANDEIRA, LINARES, 2009:215)[7].

[5] A pesar de que adolecen de unos mayores costes en planta, las fuentes renovables son acreedoras de una serie de características que las hace atractivas para corregir las externalidades medioambientales. Estudios como el acometido por la Comisión Europea (CE, 1999) en el marco del Programa JOULE, presentan a través del *Proyecto Extern-E* una metodología consistente en la medición de las externalidades medioambientales de producción energética vinculadas a las emisiones de GEI. Según esta metodología, basada en una función de daño consistente en el seguimiento de la sucesión de etapas lógicas de acumulación de impacto, desde el origen de la actividad hasta el último daño directo que produce, determina que las fuentes convencionales (carbón, el petróleo, el gas natural o los lignitos) producen las mayores externalidades, superiores incluso al precio de mercado de la electricidad. Por el contrario, las energías renovables y la energía nuclear presentan valores monetarios, para las externalidades medioambientales, mucho más reducidos (por ejemplo, la externalidad de la eólica es, en promedio, treinta veces inferior a la del carbón). A este hecho se suma el método de impacto ambiental desarrollado desde el IDAE (2002) en función de la tecnología y el tipo de combustible utilizado para la generación de energía eléctrica, al establecerse una *metodología de ecopuntos de impacto* que recoge la carga de emisiones y el daño que se produce en cada una de las etapas del ciclo de vida hasta alcanzar una unidad de electricidad. De esta metodología se infiere que las energías renovables también producen un impacto ambiental. Además, es significativo el impacto favorable sobre el empleo que ponen de manifiesto estudios como el de THOTHATHRI (1999), así como su contribución al equilibrio regional.

[6] MUÑOZ y MÁRQUEZ (2009) estiman un modelo de previsión de demanda de generación de energía eléctrica para 2020. Bajo un escenario de prioridad para las energías renovables, dicho escenario aparece como una opción viable para el mix energético nacional en 2020 (cumpliendo el objetivo del 20% de cuota de energía de procedencia renovable establecido para España por la Directiva 2009/28/CE).

[7] A medio y largo plazo cabe esperar que la promoción de energías renovables derive en mejoras tecnológicas que permitan reducir los costes en planta y hacerlas más competitivas (MUÑOZ y MÁRQUEZ, 2009; COLLADO, 2009).

De forma complementaria a los efectos sobre el precio final de la electricidad, la regulación medioambiental en materia de promoción de fuentes renovables puede provocar efectos positivos sobre la innovación que incentiven las actividades de mejora tecnológica aplicadas a la producción de energías alternativas (eficiencia dinámica)[8]. Ante un proceso de innovación tecnológica fomentado por una regulación administrativa, se conseguirían beneficios adicionales a la reducción de emisiones de CO_2, contrayendo tanto la dependencia energética externa (con mejoras en la seguridad del suministro energético), como los picos de demanda, y permitiendo ahorros en las infraestructuras de distribución de la electricidad (HERNÁNDEZ y DEL RÍO, 2007). Para el caso particular de la promoción de energías renovables, las medidas de innovación tecnológica permitirían la obtención de ganancias de eficiencia, reduciendo los requerimientos energéticos y mejorando la competitividad internacional[9].

3. LA CUESTIÓN MEDIOAMBIENTAL EN LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO

La necesidad de corregir las externalidades medioambientales ha propiciado que la teoría del crecimiento incorpore variables medioambientales a sus modelos de análisis económico. No en vano, los modelos ambientales de crecimiento económico surgen en el momento en que se adquiere conciencia de que la actividad económica genera una demanda creciente de recursos naturales que, a su vez, da lugar a efectos negativos sobre el medio ambiente que no pueden ser ignorados. De este modo, el análisis económico se incorpora como una herramienta útil para predecir cuándo las políticas medioambientales contribuyen a la mejora del bienestar social neto, en el sentido de que los costes de las medidas resulten inferiores a la ganancia obtenida, tal y como nos recuerda STERN (2006).

La incorporación de los factores ambientales a la teoría de crecimiento económico se ha producido en varias etapas (DE CASTRO, 2009:96). En un primer momento, el análisis se centró en la preocupación por el potencial

[8] En este contexto medioambiental, la eficiencia dinámica estaría determinada por los procesos tecnológicos derivados del cumplimiento de la normativa ambiental, donde las políticas regulatorias adquieren especial relevancia, tanto en los procesos de disminución de la contaminación, como en el desarrollo de innovaciones capaces de reducir los costes de generación energética. La disminución de la ineficiencia energética, en la industria española, va a llevar a una reducción en el uso de la energía, de modo que no aparece conflicto de objetivos entre alcanzar eficiencia productiva y reducir el consumo energético (ESTEBAN, FEIJOÓ y HERNÁNDEZ, 2003:272).

[9] Puesto que la regulación medioambiental facilita la sustitución de fuentes de producción, las innovaciones tecnológicas que originan estos procesos hacen a estas fuentes más eficientes en el medio plazo (KEMP y SOETE, 1990).

agotamiento de los recursos naturales y los efectos perversos que tendría sobre el crecimiento. En este orden de cosas, MEADOWS *et al*. (1972) apuntan a que la sobreexplotación de recursos, unida a un fuerte incremento de la población, podría desencadenar un colapso de la economía mundial, mientras que en 1974 la teoría neoclásica incorpora los recursos naturales al análisis del crecimiento[10], cuyo eje central discurre en torno a la imposibilidad de un crecimiento económico sostenible en ausencia de tecnologías –exógenas– correctoras del deterioro medioambiental (DASGUPTA y HEAL, 1979)[11].

Posteriormente, la teoría medioambiental centra su atención en aspectos tales como los procesos de sustitución del capital artificial por materiales procedentes de los recursos naturales, o el papel de las mejoras tecnológicas relacionadas con la eficacia productiva de los materiales y tecnologías de soporte. Esta línea de evolución se detiene en los modelos de crecimiento óptimo derivados del modelo RCK (Ramsey-Cass-Koopmans), donde se cuestiona la existencia de una relación funcional entre la renta y la degradación medioambiental y se considera que la desutilidad de un subproducto contaminante puede quedar compensada con la utilidad del consumo, de modo que puede resultar compatible un modelo de crecimiento económico con un creciente aumento del deterioro medioambiental (SELDEN y SONG, 1995).

Al igual que el resto de la teoría del crecimiento económico, la teoría medioambiental cae en desuso hasta la década de los ochenta, cuando la aparición de los modelos de crecimiento endógeno permite retomar el análisis de la relación entre los problemas medioambientales y el crecimiento económico[12]. Estos "*nuevos*" modelos de crecimiento se alejan del planteamiento neoclásico al suponer una tasa de crecimiento endógena que permite incorporar las preferencias, la tecnología y las políticas regulatorias a los procesos de crecimiento económico, de modo que se permite estudiar, desde dentro del modelo, la contribución de las políticas de conservación del medio

[10] En 1974, la *Review of Economic Studies* dedica un número especial a comunicaciones presentadas en una reunión científica convocada para analizar el informe MEADOWS (1972) sobre límites al crecimiento. En 1987, la World Commision on Environment and Devopment (WCED), publica *Our common future*, y en 1997 la revista Land Economics dedica un monográfico a sostenibilidad, seguido de aportaciones realizadas por otras revistas como Ecological Economics (PULIDO, 2003:212).

[11] Se atribuye al *Informe Brundtland* de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD, 1987) de la ONU (1987), la acuñación del término "sostenible" por primera vez en 1987, aunque después fue asumido por la denominada 3ª Declaración de Río, en 1992, donde se crea la Comisión para el Desarrollo Sostenible (o *"Cumbre de la Tierra"*). Se trata de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras, con el fin de atender sus propias necesidades y de satisfacer, conjuntamente, los objetivos económicos, sociales y ambientales de la población.

[12] El nuevo postulado teórico se produce con la publicación de la tesis doctoral de Paul ROMER (escrita en 1983), posteriormente corroborada por LUCAS.

ambiente al crecimiento y al empleo. Además, estos modelos permiten incorporar el supuesto de que las economías se desenvuelven en mercados de competencia imperfecta, posibilitando la financiación de actividades que generen progreso tecnológico (ROMER, 1987; AGHION y HOWITT, 1992; GROSSMAN y HELPMAN, 1991). Los estudios de corte endógeno que vinculan el crecimiento económico con el medio ambiente, consideran que los avances tecnológicos ambientales pueden originarse de forma endógena dentro del propio sistema económico, lo que implica la conveniencia de invertir en energías limpias a fin de poder alcanzar unas tasas positivas de crecimiento de forma sostenible (GRADUS y SMULDERS, 1993, entre otros).

Posteriormente y, dentro del enfoque endogenista, los modelos de competencia imperfecta de base schumpeteriana argumentan que si las actividades de eliminación de residuos y contaminación fomentan el desarrollo de tecnologías limpias, capaces de reducir los coeficientes de emisión, puede resultar viable alcanzar un crecimiento sostenible que dependa básicamente de la productividad de dicha actividad (DE CASTRO, 2009:105)[13]. Por el contrario, en presencia de rendimientos sectoriales decrecientes, resulta inviable alcanzar un crecimiento económico a largo plazo sin evitar un nivel de polución cada vez más elevado (suponiendo unos coeficientes de emisión constante). Por tanto, el crecimiento sostenible va a exigir, como requisito fundamental, la presencia de rendimientos constantes o crecientes a escala en actividades de reducción de la contaminación.

En la actualidad, puede decirse que los modelos de crecimiento endógeno constituyen un marco metodológico adaptado al análisis de la relación entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental, y resultan eficaces en la explicación de algunos aspectos básicos del desarrollo sostenible (ALFRANCA, 2007). A este respecto, la relación entre crecimiento económico y calidad medioambiental ha centrado sus investigaciones sobre los efectos que la innovación tecnológica tiene sobre el crecimiento económico y la calidad medioambiental (DINDA, 2004), reconociéndose, sobre una base empírica, que el crecimiento económico puede influir sobre las mejoras medioambientales y que las políticas regulatorias adquieren especial relevancia, tanto en los procesos de corrección medioambiental, como en el desarrollo de innovaciones capaces de reducir los costes de generación energética (enfoque de la eficiencia dinámica). De este modo, la relación entre crecimiento económico y deterioro

[13] SCHUMPETER ha terminado siendo encasillado dentro de la corriente de análisis estático de la competencia y asociado a la idea de correlación positiva entre gran empresa y monopolio (TIROLE, 1988). Sin embargo, no son pocos los modelos de competencia imperfecta de corte *"schumpeteriano"* que han ido apareciendo, basados en el concepto de "*destrucción creadora*", para explicar cómo las tecnologías que van quedando obsoletas dan paso a nuevos productos y procesos productivos.

medioambiental lleva implícita una complementariedad con las políticas regulatorias, puesto que, ante la imposibilidad de que el mercado pueda, por sí mismo, frenar el deterioro medioambiental, éstas van a jugar un papel fundamental en su corrección, siempre y cuando estas regulaciones se articulen de una forma adecuada[14].

Dentro de la relación manifiesta entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental, una línea de investigación de base empírica es la que se ocupa de estudiar la forma concreta de dicha relación a largo plazo, intentando encontrar claves que permitan establecer un patrón que goce de generalidad. Se trata del programa de investigación conocido como la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) que, en líneas generales, propone la existencia de una relación en forma de U-invertida entre el deterioro medioambiental y el crecimiento económico (STERN y COMMON, 1996; EKINS, 1997).

4. EL MODELO DE LA CKA

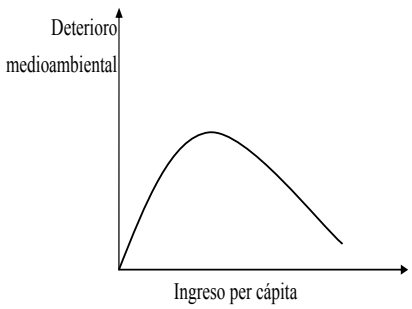
La idea de que hay cierta interacción entre el crecimiento económico y la contaminación ha propiciado la aparición de estudios empíricos que tratan de confirmar que la degradación ambiental es una función creciente del nivel de actividad económica hasta un determinado nivel de renta crítico, a partir del cual, un mayor nivel de renta se asocia a niveles de calidad ambiental progresivamente mayores, siguiendo un patrón en forma de U-invertida (GROSSMAN y KRUEGER, 1991), en lo que ha venido a conocerse como la Curva de Kuznets Ambiental (CKA)[15]. La hipótesis de la CKA ha ganado relevancia científica después de que diversos estudios hayan puesto de manifiesto una asociación positiva entre el nivel de desarrollo económico de una sociedad y la calidad ambiental, eso sí, a partir de un nivel determinado de ingresos per cápita[16].

[14] "La calidad del medioambiente y la tecnología tienen carácter de bien público, por lo que es necesaria la intervención del gobierno para que una economía de mercado se mantenga en una trayectoria socialmente óptima" (MARTÍNEZ y SÁNCHEZ, 1998:117). Esta misma conclusión se alcanza en XEPAPADEAS (2005), a pesar de la gran cantidad de preguntas pendientes de respuesta para una teoría del crecimiento con consideraciones medioambientales.

[15] Inicialmente, la degradación medioambiental aumenta con el crecimiento económico pero, a partir de un determinado nivel de renta, un aumento del mismo se asociaría con una mejora de la calidad ambiental. El argumento primigenio utilizado por Simón KUZNETS (1901-1985) se basa en que, al inicio del proceso de desarrollo, las economías presentan una distribución del ingreso bastante equitativa (reflejada en coeficientes de GINI bajos); sin embargo, conforme el progreso se acelera, esta relación equidad/ingreso comienza a deteriorarse y el índice de desigualdad de GINI comienza a subir hasta alcanzar un nivel máximo. A partir de tal punto, el nivel de equidad comienza a mejorar conforme aumenta el ingreso (FOGEL, 2000).

[16] GROSSMAN y KRUEGER (1991) son pioneros en evidenciar una relación en forma de U-invertida entre contaminantes y desarrollo económico. A partir de aquí, numerosos estudios,

Figura 1
Curva de kuznets Ambiental



La CKA adopta la forma de U-invertida en el sentido que, una vez que una economía alcanza cierto nivel de renta (la parte alta de la curva), la contaminación medioambiental comienza a disminuir conforme continua aumentando el nivel de renta

Fuente: Elaboración propia.

Desde un punto de vista normativo, ANDREONI y LEVINSON (1998) mejoran la hipótesis de la CKA incorporando algunos argumentos importantes, entre los que destacamos que la tecnología de reducción de contaminación adquiere una singular importancia para entender el fenómeno que plantea la Curva. Esta afirmación es una consecuencia del reconocimiento previo de que el crecimiento económico no resolverá, por sí solo, los problemas de contaminación puesto que, en ausencia de regulación ambiental, la trayectoria descrita por la relación "*nivel de ingresos/contaminación*", aun teniendo forma de U-invertida, puede llevar a que se alcance el tramo descendente de la curva (reducción de contaminación) para un nivel de ingresos excesivo e innecesariamente elevado (teóricamente, el modelo no establece límite en el nivel de ingresos necesario para generar la reducción de la contaminación). De este modo, el modelo CKA, no solo resulta compatible con la regulación medioambiental, sino que, además, considera a las tecnologías de descontaminación como esenciales para entender el propio fenómeno descrito[17].

como los de PANAYOTOU (1993) o SELDEN y SONG (1995), han extrapolado la relación equidad/ingresos propuesta por Kuznets, evidenciando un comportamiento similar al de una U-invertida para diferentes niveles de ingreso.

[17] Aunque, a simple vista, pueda parecer que el modelo omite el hecho de que los problemas medioambientales puedan desencadenar externalidades, sin embargo, ANDREONI y LEVINSON (1998) resuelven esta cuestión al considerar que la relación 'nivel de ingresos/contaminación' depende, básicamente, de la tecnología de reducción de la contaminación y no del número de contaminadores ni de las utilidades marginales relativas del consumo y de la calidad medioambiental, ni de tan siquiera las externalidades. Por su parte, otra importante aportación teórica es la que llevan a cabo UNRUH y MOOMAW (1998), cuando señalan la importancia del mercado como institución capacitada para prevenir la

El enfoque teórico sobre la CKA expuesto por ANDREONI y LEVINSON permite descomponer en tres partes el efecto total de la reducción de la contaminación: el efecto de escala, recoge un aumento en los niveles de polución conforme aumenta la actividad (positivo); por otro lado, también aparece un efecto composición que se explica a través de la evolución o tercerización de las economías (negativo)[18]; finalmente, existe un efecto de progreso tecnológico y de eliminación de polución que provoca que, a medida que aumenta la renta, disminuye la degradación medioambiental (negativo). Estos dos últimos efectos generarían la forma de U-invertida de la curva [19].

Es en la pasada década de los años noventa cuando, a partir del trabajo pionero de GROSSMAN y KRUEGER (1991), se inicia el estudio empírico de la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental[20]. En este sentido, la hipótesis de la CKA presenta ciertas características que le confieren ventaja en el estudio empírico de la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental (DE CASTRO, 2009:106). Por un lado, el incremento de la demanda medioambiental parte de la consideración de que la calidad ambiental es un bien de lujo (elasticidad-renta de la demanda ambiental superior a la unidad), lo que implica que a medida que los agentes aumentan su nivel de renta, aumentan en mayor proporción sus exigencias de mejoras medioambientales. En segundo lugar, conforme los países son más avanzados conceden una mayor importancia a las actividades de reciclaje y eliminación de residuos, de modo que la hipótesis de la CKA asume la existencia de cambios estructurales en las economías (p.e., el proceso de terciarización). En tercer lugar, la explicación básica de la CKA puede complementarse con argumentos adicionales, tales como la aplicación de

degradación medioambiental: la escasez de recursos naturales conduciría a unos precios crecientes que reducirían la demanda, acelerando el desplazamiento hacia tecnologías menos intensivas en recursos medioambientales (TORRAS y BOYCE, 1998).

[18] El efecto composición refleja el traslado de una buena parte de la actividad económica desde el sector industrial (con actividades intensivas en consumo de energía y emisiones tóxicas) hacia el sector servicios, lo que conlleva una reducción en la emisión de contaminantes y contribuye a invertir la pendiente de la curva (HETTIGE *et al.*, 1998).

[19] Como ya se ha visto, los procesos de innovación tecnológica inducidos por la regulación administrativa ofrecen una explicación adicional, respaldada por la teoría endogenista, que sostiene que el cambio en el comportamiento de la relación 'nivel de ingresos/medio ambiente' se debe, en buena parte, a la mejora en los procesos de producción derivada del cambio tecnológico. Además, el progreso tecnológico puede incrementar la capacidad de sustitución de los recursos altamente contaminantes o degradantes por otros más ecológicos. Entre los trabajos que han "endogenizado" los avances técnicos para abordar cuestiones medioambientales y de sostenibilidad, destaca la aportación de GRADUS y SMULDERS (1993).

[20] El primer autor que acuña la denominación Curva Ambiental de Kuznets es PANAYOTOU (1993).

políticas medioambientales, los niveles de educación ciudadana, el grado de protección de los derechos de propiedad privada y otras acciones que toman los países más avanzados para mejorar su calidad medioambiental.

Como síntesis y siguiendo a CORREA *et al.* (2004:13), puede establecerse la siguiente descripción metodológica generalizada sobre la Curva de Kuznets Ambiental para relacionar la presión ambiental (*EP*) con el nivel de ingresos (*Y*) y otras variables:

$$EP = \alpha_{i,t} + \beta_1 Y_{i,t} + \beta_2 Y_{i,t}^2 + \beta_3 Y_{i,t}^3 + \beta_4 t + \beta_5 Z_{i,t} + e_{i,t} \qquad (1)$$

donde el subíndice *i* señala el país o región, *t* indica el momento del tiempo, α el promedio de presión ambiental cuando el ingreso no tiene especial relevancia sobre la presión ambiental, β representa la importancia relativa de las variables exógenas, Z_{it} determina las otras variables de influencia sobre la presión ambiental y $e_{i,t}$ es el término de error normalmente distribuido. Así pues, la expresión (1) permite identificar distintas formas de la relación 'medio ambiente/nivel de ingresos' que quedan más visibles en la figura 2.

El comportamiento ciertamente errático que puede tener la relación estudiada se debe, en buena medida, a la heterogeneidad de las variables que cabe considerar para representar el estrés ambiental. Así, mientras que algunos contaminantes se comportan de acuerdo con la hipótesis de la CKA (forma de U-invertida), otros siguen un patrón en forma de N-invertida (figura 2, aptdo. 6), lo que indicaría que un aumento de la renta reduce inicialmente la contaminación para, finalmente, hacerla decrecer[21].

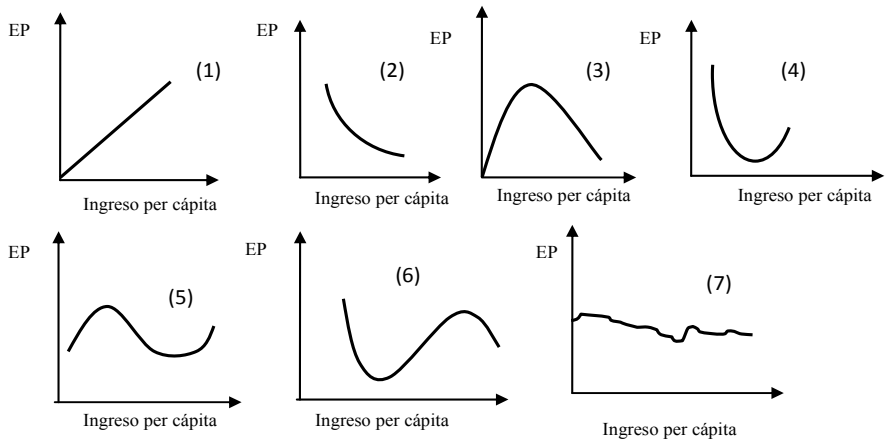
Diversos estudios han tratado de validar la hipótesis de la CKA a través de la utilización de indicadores, como índices de desigualdad, tipo de emisión, nivel de educación, etc. Entre los trabajos empíricos pioneros sobre la CKA, se encuentra el realizado por GROSSMAN y KRUEGER (1995), donde se muestra una relación en forma de U-invertida para las emisiones de SO_2 y humo, encontrando que la contaminación aumenta cuando el ingreso presenta niveles bajos pero, una vez alcanzado un pico en el nivel de ingresos, la contaminación comienza a descender. Otro trabajo sobre validación de la hipótesis de la CKA es el de SELDEN y SONG (1995), al utilizar diversos contaminantes del aire, tales como el óxido de nitrógeno (NO_X) y el monóxido de carbono (CO), encontrando una relación en forma de U-invertida entre las emisiones de los contaminantes estudiados y el PIB per cápita[22]. A pesar de

[21] La obtención de una relación en forma de N (figura 2, aptdo. 5) ha sido utilizada para criticar la hipótesis de la CKA, considerando que tal hipótesis tiene un carácter temporal que no puede mantenerse a largo plazo en condiciones de crecimiento sostenido (GROSSMAN y KRUEGER, 1995).

[22] En este estudio resulta interesante comprobar que la variable *"contaminación urbana"* (cuyo espectro es local) encuentra el cambio de tendencia esperado a un menor nivel de ingreso per

todo, SELDEN y SONG concluían, entonces, que la mayoría de la población mundial todavía no habría alcanzado los puntos umbral que permitiesen el cambio de tendencia hacia una reducción en los niveles de contaminación, lo que les llevaba a pensar que las emisiones seguirán aumentando en el futuro.

Figura 2
Comportamientos posibles entre presión ambiental y PIB per cápita



(1) Si β1>0, β2=β3=0, relación monótona creciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con altos niveles de emisiones.

(2) Si β1<0, β2=β3=0, relación monótona decreciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con niveles decrecientes de emisiones.

(3) Si β1>0, β2<0, β3=0, relación cuadrática en forma de U-invertida, representando la CKA e indicando que altos niveles de ingreso están asociados a niveles decrecientes de contaminación una vez que ha sido alcanzado cierto nivel de ingresos.

(4) Si β1<0, β2>0, β3=0, relación cuadrática en forma de U, inversa a la CKA.

(5) Si β1>0, β2<0, β3>0, polinomio cúbico, representando la forma de N, donde se cumple la hipótesis U-invertida de CKA hasta cierto nivel, a partir del cual la contaminación vuelve a aumentar.

(6) Si β1<0, β2>0, β3>0, polinomio cúbico, inverso a la forma de N.

(7) Si β1=β2=β3=0, comportamiento plano, indicando que las emisiones no son influenciadas por el nivel de ingresos

Fuente: CORREA et al. (2004)

cápita, en relación con lo que ocurre con otras variables representativas de la contaminación de amplio espectro. La explicación que los autores conceden a este hecho es que la contaminación del aire urbano resulta más fácil de combatir por los agentes reguladores, de modo que las mejoras en la calidad del aire urbano pueden alcanzarse con unos menores costes relativos, en comparación con las estrategias de reducción de emisiones de amplio espectro, tales como el CO_2.

Dentro de los estudios que confirman la hipótesis de la CKA, también resulta interesante la aportación de SARAVIA (2002), al establecer que, a pesar de que inicialmente aparece una relación positiva entre el CO_2 y el PIB per cápita, dicha relación se vuelve negativa a niveles elevados de renta. Además, este estudio incorpora una variable de desigualdad económica (el índice de GINI), cuya relación con el nivel de emisiones de CO_2 resulta ser inversa, de modo que una mayor desigualdad en la distribución de ingresos llevará a una reducción en el nivel de emisiones. Por su parte, en CORREA *et al.* (2004) se analiza la evidencia de la CKA a partir del análisis del PIB_{PC}, el coeficiente de GINI y los niveles de densidad de población, así como una variable "*freedom"* relacionada con las libertades políticas y el nivel de educación. Entre las conclusiones que presenta el estudio, resulta particularmente interesante la consideración de que el crecimiento económico no es la única solución para frenar el deterioro ambiental, puesto que, tanto el comercio internacional, como las políticas de regulación medioambiental, contribuyen a que algunos países (especialmente aquellos con bajos niveles de ingreso) puedan evitar, a través del aprendizaje, llegar al máximo de degradación ambiental, en una senda compatible con un crecimiento económico positivo.

Por otro lado, hay algunos estudios en donde, a pesar de avalarse el aparato analítico de la CKA, se muestra cierto escepticismo sobre su validación (véase ARROW *et al*., 1995). En dicho trabajo se considera que todas las contaminaciones medioambientales no pueden ser interpretadas como stocks, al estar eludiéndose los efectos de *"resiliencia"* y los daños medioambientales irrecuperables[23]. En consecuencia, el crecimiento económico no sería una condición suficiente para la corrección del deterioro ambiental, siendo preciso incorporar políticas regulatorias a los procesos de corrección medioambiental.

Por su parte, en ROCA y PADILLA (2003) se muestra cierta cautela sobre la base teórica y empírica que sostiene a la CKA, a pesar de aportar evidencia empírica sobre la relación entre el nivel de renta per cápita y diversos contaminantes atmosféricos. En este sentido, se apunta hacia la existencia de una respuesta acorde con la hipótesis de la CKA cuando se analizan los efectos de las emisiones de carácter local (SO_2), cuyo coste de control de la emisión es relativamente bajo. Sin embargo, para emisiones de carácter global, como el CO_2, cuyo control resulta bastante costoso, no encuentran evidencia que avale el cumplimiento de la hipótesis de la CKA. Finalmente, en CAPÓ (2009) se analiza la relación entre el PIB per cápita y diversos contaminantes atmosféricos para un conjunto de 23 países europeos. Las estimaciones realizadas encuentran

[23] Se entiende por "*resiliencia ambiental*" la capacidad que tiene un ecosistema de absorber estrés ambiental sin cambiar sus patrones ecológicos característicos. Refleja la capacidad de los sistemas naturales para recuperarse del efecto adverso producido por la acción humana o de la naturaleza.

evidencia a favor de la hipótesis de la CKA, tanto para los contaminantes con efectos globales, como son el CO_2 y resto de gases de efecto invernadero, como para algunos contaminantes con efectos más locales, tales como el monóxido de carbono (CO) y el óxido de nitrógeno (NO_X).

A la luz de lo contemplado en esta muestra de trabajos empíricos sobre la CKA, da la sensación de que el foco de atención ha derrotado hacia cuestiones como el carácter temporal o estructural de las reducciones esperadas en la contaminación, la cuestión de los *efectos tiempo* y los shocks estocásticos como argumentos *ocultos* que estarían detrás de la reducción de las emisiones (DÍAZ-VAZQUEZ y CANCELO, 2009), o en la discusión sobre si el crecimiento económico contribuye o no a esta reducción, como se advierte en DE BRUYN (2000), olvidando consideraciones más generales como la necesidad de admitir o no el concepto de desarrollo sostenible. En este sentido, sería interesante incorporar al análisis algunas hipótesis que permitieran estudiar el impacto de ciertas medidas regulatorias sobre la reducción de los niveles de contaminación, buscando encontrar evidencia que confirme la proposición de EKINS (1997) de que el crecimiento económico, por sí solo, no es capaz de frenar los niveles de contaminación.

Las medidas incentivadoras de la sustitución energética a largo plazo mediante el impulso de fuentes energéticas renovables, muy extendidas hoy en algunos países desarrollados, podría constituir un buen campo de experimentación para validar esta hipótesis aunque, ciertamente, no resulta fácil inferir resultados exentos de controversia. De hecho, aunque la teoría económica pueda ser un referente riguroso para avalar una política de implantación de energías renovables, la casuística es demasiado compleja para obtener resultados incontrovertidos. Es preciso analizar el modo en que las decisiones privadas óptimas se desvían de las decisiones económicamente eficientes, puesto que tales desviaciones pueden tener su origen en un fallo de mercado o en un fallo de comportamiento. Toda intervención pública dirigida a corregir esas deviaciones con éxito, mejorará el bienestar social neto siempre que los costes en que se incurre puedan ser absorbidos por las ganancias de bienestar obtenidas (GILLINGHAM y SWEENEY, 2010:128).

A pesar de todo, uno de los principales problemas a los que se enfrenta el modelo de la CKA es su limitada capacidad de explicación de la relación empírica observada entre los contaminantes y la renta per cápita. Lo que puede poner de manifiesto es, tan solo, la relación estadística entre ambos agregados (correlación), pero no permite explicar las razones que se esconden detrás del comportamiento descrito (CORREA, 2007). Esta limitación se deriva de la necesidad de usar un modelo en forma reducida lo que, sin duda, tiene implicaciones importantes en la medida en que dificulta entender lo espurio de algunas relaciones y la causalidad entre variables.

La expresión general para la CKA de la ecuación (1), se establece bajo la hipótesis de que es capaz de capturar el modelo base de ecuaciones estructurales, donde el ingreso influye en variables como la tecnología, la composición del PIB y del mix energético o las políticas ambientales, de manera que estas variables, a su vez, condicionan el comportamiento de otras variables como el estrés ambiental o el propio ingreso. El establecimiento de una relación directa entre ingreso y estrés ambiental (el modelo básico en forma reducida estima la influencia directa e indirecta de la variable ambiental sobre el ingreso), supone una ventaja frente a la relación indirecta que se daría en el modelo estructural. Sin embargo, como argumentan GROSSMAN y KRUEGER (1995), esta ventaja se ve contrarrestada por el hecho de que en la forma reducida del modelo no es posible explicar con claridad la relación estimada y, por tanto, la de los coeficientes obtenidos. Dicho de otra forma, la presencia en la CKA de causalidad indirecta impide ofrecer una explicación completa de las relaciones estimadas.

Ante esta limitación formal del modelo CKA, GROSSMAN y KRUEGER intentan acotar este "eslabón perdido" por el abandono del modelo estructural en términos de tres componentes: regulación ambiental, tecnología y composición industrial, argumento a partir del cual TORRAS y BOYCE (1998) concluyen que es la regulación ambiental el componente más importante para acelerar un cambio tecnológico capaz de reducir el nivel de contaminación. En realidad, la reciente literatura económica sobre la CKA se encuentra centrada en esta línea argumental, donde se enmarca también nuestro trabajo[24].

En relación con la opción por una especificación cuadrática o cúbica del modelo, son varios los problemas a que se han enfrentado los trabajos empíricos realizados para validar la hipótesis de la CKA. Sin ánimo de exhaustividad, podemos decir que hay tres importantes bloques de aspectos sujetos a controversia en este punto. En primer lugar, los que afectan a las series de datos utilizados, sobre todo, por lo que se refiere a la selección de los contaminantes: en unos casos, la CKA se cumple para contaminantes de efecto local y en otros casos ocurre justo al contrario. Otro tipo de cuestiones controvertidas son las relativas al uso de la técnica de panel para analizar conjuntamente las situaciones de varios países y que suele presentar problemas derivados de una muy diferente estructura de relaciones entre el ingreso y la contaminación entre los distintos países. Finalmente, la especificación concreta de la ecuación reducida que debe someterse a contraste, a veces plantea problemas de

[24] A pesar de la tendencia actual mayoritaria de la literatura que desarrolla la CKA, hay enfoques recientes basados en la economía ecológica, como el de VICTOR (2010). Por otro lado en BROCK y TAYLOR (2005) se cuestiona la eficacia de los esfuerzos realizados para explicar la CKA mediante complejos supuestos adicionales, cuando este esquema analítico puede venir derivado fácilmente del denominado modelo "verde" de Solow.

interpretación económica. En particular, es sabido que en un compromiso entre la máxima fidelidad al comportamiento real de las variables observadas y la necesidad de obtener evidencia clara sobre el cumplimiento de la relación fundamental que buscamos, el denominado modelo cúbico constituye el estándar a seguir, puesto que el punto de quiebra suele separar algo más que el signo de la pendiente de la función estimada; esto es, la propensión marginal a emitir contaminantes (PME) probablemente no se comporte de manera simétrica a ambos lados de dicho punto, supuesto más plausible que su contrario.

A pesar de ello, la forma de 'N'-invertida que arrojan muchos de los modelos CKA cúbicos (figura 2, aptdo. 6), o bien suele carecer de una explicación económica convincente para el primer tramo descendente de la relación contaminación-ingreso, o bien la función estimada no difiere significativamente (para el rango relevante de datos observados) de la función estimada mediante el modelo cuadrático que, al final, es el que se encuentra más generalizado en los trabajos empíricos. No obstante, en este trabajo incluimos algunas estimaciones de la variante cúbica del modelo.

5. CONTRASTE DEL MODELO CKA PARA ESPAÑA CON ENERGÍAS RENOVABLES

En los últimos años, el sector energético español ha contemplado, simultáneamente, un proceso de liberalización de las condiciones de competencia en este mercado y otro proceso de cambio regulatorio tendente a la sustitución progresiva de fuentes energéticas convencionales de origen fósil por otras renovables, con el doble objetivo de reducir la dependencia energética y el nivel de emisiones de GEI[25]. Ante el problema acuciante que representa el elevado nivel de emisiones contaminantes y la aceptación del Protocolo de Kioto, la Unión Europea fija como estrategia la reducción de emisiones sin que se vea afectado a largo plazo el crecimiento económico y, como táctica, la sustitución de fuentes energéticas de origen fósil por otras renovables, y el aumento en la eficiencia energética (véase la Directiva 2009/28/CE). El modelo español es deudor de estos principios generales, aunque en los últimos años ha sesgado claramente su táctica hacia la promoción de fuentes renovables, puesto que el objetivo fijado por la UE para España es alcanzar una cuota del 20%. Este escenario, por tanto, es susceptible de tratamiento mediante el cuerpo teórico de la Curva de Kuznets Ambiental, donde puede someterse a contraste empírico el papel de la principal medida: la promoción de energías renovables.

[25] La nueva estrategia regulatoria se encuentra definida, sobre todo, en los Reales Decretos 2818/1998, 436/2004 y 661/2007, donde se ha forjado el actual Régimen Especial.

Mientras que las variables habituales utilizadas en este tipo de contrastes no merecen especial comentario, conviene detenerse en el problema de cómo definir una variable que sea suficientemente representativa de la vocación de regulador por cambiar el mix energético. Después de analizar varias posibilidades, la variable elegida ha sido PATROCEN, que se define como el cociente entre el consumo de energía renovable y el consumo de energía convencional, siendo objeto de atención dos cuestiones. Primero, que el signo esperado de esta variable debe ser negativo, esto es, un aumento en el patrón de consumo renovable debe contribuir a reducir las emisiones contaminantes. Segundo, que un resultado significativo para esta variable debe interpretarse en términos de eficacia y no de eficiencia de la política energética, puesto que el modelo no permite extraer conclusiones en este sentido. Así pues, una primera especificación cuadrática del modelo a contrastar es la siguiente:

$$GEI_{PCt} = \alpha + \beta_1 PIB_{PCt} + \beta_2 PIB_{PCt}^2 + \beta_3 GINI_t + \beta_4 PATROCEN_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

donde, t = año (1990-2008); ε_t: error, que ha de cumplir los requisitos de media nula, varianza constante y no correlación, esto es, ausencia de relación entre distintas observaciones de la propia perturbación aleatoria.

Variable endógena GEI_{PC}: La emisión de gases de efecto invernadero refleja la evolución de la principal variable generadora del impacto sobre el cambio climático. El uso de las emisiones de GEI y, particularmente, el CO_2 (dióxido de carbono, cuyo peso en la estructura de GEI es de, aproximadamente, el 80% del total).

Variables independientes:

- PIB_{PC} (€/pc2000): nivel de renta, en términos per cápita (a precios constantes del año 2000), 1990-2008. La variable PIB^2_{PC} permite validar la forma funcional cuadrática en forma de U-invertida entre el nivel de emisiones y el nivel de renta per cápita (CORREA, 2007:22).
- GINI: índice de desigualdad económica de GINI, que ha sido ampliamente utilizado en la literatura económica sobre la CKA. El hecho de que, conforme la población adquiere un mayor nivel de ingresos es más consciente del deterioro ambiental, es una hipótesis ya contrastada (SCRUGGS, 1998). Los individuos usarían su capacidad de decisión para conducir sus preferencias hacia el cuidado del medio ambiente, puesto que, una vez cubiertas sus necesidades básicas, contarían con una mayor disposición a pagar para corregir el deterioro medioambiental, en comparación con los individuos de baja renta. Hay diversos estudios que respaldan que una mayor desigualdad económica contribuye

positivamente a la descontaminación ambiental, sin embargo, no todos los resultados empíricos abundan en esta dirección (CORREA, 2007)[26].

- PATROCEN: patrón de consumos energéticos. Se define como la ratio entre el consumo energético de fuentes renovables y el consumo energético de fuentes convencionales para España (1990-2008), y refleja la evolución del mix energético en España.

Un simple estudio preliminar de la variable PATROCEN nos acerca a la evidencia de que, en los últimos años, se ha acelerado el efecto sustitución (o de desplazamiento energético) en el que las fuentes energéticas renovables han adquirido un mayor peso en el total del consumo energético español. Por otro lado, de validarse el aporte de esta variable al modelo, reforzaría la hipótesis de que la disminución de la contaminación medioambiental no puede ser explicada exclusivamente por el crecimiento económico, lo que tiene una implicación no menos importante: respaldaría el argumento de que una adecuada política regulatoria contribuye a mejorar la corrección ambiental, aspecto ya tratado en diversos trabajos[27].

Las fuentes de datos utilizadas para realizar las estimaciones, proceden del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el Ministerio de Economía y Hacienda (MEH), el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MMA), GOERLICH (1998), EUROSTAT e INE. Para el ajuste se ha empleado el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), llevando a cabo dos estimaciones para analizar la evolución de la variable dependiente GEI_{PC}, bajo la denominación, respectivamente, de *Modelo 1* y *Modelo 2*.

[26] RAVALLION *et al.* (2000) encuentran que, en términos generales, a mayor desigualdad se genera un menor nivel de emisiones. Por el contrario, TORRAS y BOYCE (1998) consideran que una mayor igualdad en la distribución de la renta afecta positivamente a la mejora de la calidad medioambiental. La propia evidencia empírica plantea contradicciones sobre los efectos que la desigualdad tiene sobre el nivel de emisiones (CORREA, 2007).

[27] Véase ARROW *et al.* (1995), y UNRUH y MOOMAW (1998:227), entre otros. GROSSMAN y KRUEGER (1995) entienden que la introducción de normas regulatorias (impuestos a la contaminación, creación de sistemas de permisos negociables, etc.), unido al carácter de bien público de la calidad ambiental, provoca un aumento en su demanda efectiva, impulsando una reducción de los fallos de mercado. Como aspecto adicional, TORRAS y BOYCE (1998) consideran que las políticas gubernamentales han ejercido una importante influencia sobre el cambio tecnológico de reducción de contaminación.

Tabla 1
Resultados del contraste empírico para el *Modelo 1*

Modelo 1: GEIPCt= α+β1PIBPCt+ β2PIB2PCt+ β3GINIt+ dummyt+ εt						
MCO; observaciones: 1990-2008 (T =19); Var. dependiente: GEIpc						
	Coeficiente	**Elasticidad**	**Desv. Típica**	**Estadístico t**	**Valor p**	
α	3,20002	—	2,81047	1,1386	0,27398	
PIB_{PC}	0,00199348	3,41088271	0,000438271	4,5485	0,00045	***
PIB^2_{PC}	-6,05672e-08	-1,58856999	1,56299e-08	-3,8751	0,00168	***
GINI	-0,318266	-1,19151272	0,0826048	-3,8529	0,00176	***
$dummy_t$ d05	0,652767	0,01574003	0,30783	2,1205	0,05230	*
Media de la variable dependiente		8,731053	D.T. de la variable dependiente		0,981467	
Suma de cuadrado residuos		1,127640	D.T. de la regresión		0,283806	
R-cuadrado		0,934965	R-cuadrado corregido		0,916384	
F(4, 14)		50,31720	Valor p (de F)		3,71e-08	
Log-verosimilitud		-0,128867	Criterio de Akaike		10,25773	
Criterio de Schwarz		14,97993	Criterio de Hannan-Quinn		11,05692	
Rho		0,050736	Durbin-Watson		1,673431	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2
Resultados del contraste empírico para el *Modelo 2*

Modelo 2: $GEI_{PCt}= \alpha+\beta_1 PIB_{PCt}+ \beta_2 PIB^2_{PCt}+ \beta_3 GINI_t+ \beta_4 PATROCEN_t+ \varepsilon_t$ (3.3.13)						
MCO; observaciones: 1990-2008 (T =19); Var. dependiente: GEI_{pc}						
	Coeficiente	**Elasticidad**	**Desv. Típica**	**Estadístico t**	**Valor p**	
α	6,63916	—	2,85373	2,3265	0,03552	**
PIB_{PC}	0,00143953	2,46306358	0,00041856	3,4392	0,00399	***
PIB^2_{PC}	-3,98678e-08	-1,04652911	1,49051e-08	-2,6748	0,01813	**
GINI	-0,256581	-0,96057865	0,0749252	-3,4245	0,00411	***
PATROCEN	-28,2675	-0,21640646	9,90282	-2,8545	0,01274	**
Media de la variable dependiente		8,731053	D.T. variable dependiente		0,981467	
Suma de cuadrad. residuos		0,941733	D.T. de la regresión		0,259358	
R-cuadrado		0,945687	R-cuadrado corregido		0,930169	
F(4, 14)		60,94119	Valor p (de F)		1,06e-08	
Log-verosimilitud		1,582652	Criterio de Akaike		6,834696	
Criterio de Schwarz		11,55689	Crit. de Hannan-Quinn		7,633879	
Rho		-0,030265	Durbin-Watson		1,826618	

Fuente: Elaboración propia.

5.1. Calidad del ajuste

En el *Modelo 1* no se incluye como variable independiente el patrón de consumos energéticos (PATROCEN), aunque ha sido necesario introducir una variable "*dummy"* (ficticia) que recoge el cambio de estructura que se produce a partir de 2004, como consecuencia del importante cambio operado en la regulación administrativa. Por otro lado, en el *Modelo 2* se incluye la variable PATROCEN, a fin de comprobar cómo influye esta nueva variable sobre el modelo planteado. Con respecto a la calidad del ajuste, en el *Modelo 2* se observa que todas las variables son significativas, siendo explicada la variable GEI_{PC} en un 94,56%, de modo que el *Modelo 2* mejora el nivel de significación con respecto al *Modelo 1*. Además, si se comparan los criterios de especificación y selección de Schwarz, Akaike y Hannan-Quinn entre los dos modelos, también arroja como resultado un menor error para el *Modelo 2,* puesto que los valores de los criterios utilizados son menores. Cuando se incorpora al *Modelo 2* la variable PATROCEN, vuelve a confirmarse la forma de U-invertida y, por tanto, el cumplimiento de la hipótesis básica de la CKA. Con respecto a la variable GINI, su signo negativo confirma el comportamiento del ajuste ya descrito para el *Modelo 1*.

Se ha comprobado que, tanto en el *Modelo 1* como en el *Modelo 2,* todas las variables independientes utilizadas resultan significativas de acuerdo al estadístico-t, donde el nivel de significación viene indicado por (*)[28]. Se observa que el modelo ajusta las variaciones de la endógena en un 93,49% (R-cuadrado) para el *Modelo 1* y en un 94,56% para el *Modelo 2*. Asimismo, en ambos modelos se ha comprobado la ausencia de heterocedasticidad mediante el test de White, y la inexistencia de autocorrelación a través del test de Durbin-Watson, obteniendo coeficientes eficientes que satisfacen los supuestos del modelo de regresión lineal clásico. Además, no existe relación entre observaciones distintas de la perturbación aleatoria, cumpliéndose que ε_t es aleatorio y, por tanto, los coeficientes β_i son válidos. Finalmente, también se ha comprobado que los errores se distribuyen normalmente.

En términos económicos, ambos modelos confirman el cumplimiento de la hipótesis CKA para España entre 1990- 2008, en el sentido de que el PIB_{PC} presenta signo positivo y el PIB^2_{PC} presenta signo negativo, de modo que a partir de cierto nivel de renta, el crecimiento económico es compatible con la disminución de emisiones GEI_{PC}.

[28] Los símbolos (***) representan un nivel de significación del 99%, mientras que (**) indican una significación del 95% y (*) del 90%.

5.2. Desigualdad y contaminación

Un conjunto de trabajos empíricos que han utilizado variables de desigualdad económica entre la población, han encontrado una asociación positiva entre emisiones contaminantes y desigualdad (BOYCE, 1994; TORRAS y BOYCE, 1998); RAVALLION *et al.*, 2000; BORGHESI, 2000)[29], mientras que otros trabajos han obtenido evidencia de asociación negativa (SCRUGGS, 1998; HEERINK *et al.*, 2001; SARAVIA, 2005), entre otros. Ambos casos podrían ser ilustrados con el siguiente argumento (SARAVIA, 2005): por un lado, el denominado "efecto absoluto del ingreso" implica que una menor desigualdad (conseguida, p.e., mediante el uso de políticas pro-pobres) supone un mayor ingreso per cápita y, por tanto, un incremento de emisiones bajo la hipótesis de que la PME sea decreciente con el ingreso; por otro lado, el "efecto relativo del ingreso" provoca que una mayor desigualdad reduzca la disposición a pagar por una mejor calidad ambiental, bajo la hipótesis de que la PME sea creciente con el ingreso medio: cualquier política de mejora en la distribución del ingreso haría descender el nivel de emisiones.

El resultado que hemos obtenido se encuentra en línea con los trabajos donde la mayor desigualdad se asocia con menores emisiones contaminantes (el 2º bloque de trabajos antes citados). De hecho, en la medida en que hemos encontrado evidencia sobre la relación básica que describe la CKA (una curva en forma de U-invertida entre emisiones e ingreso), entonces la propensión marginal a emitir debe ser necesariamente decreciente en el tramo relevante. Cabe ahora preguntarse por la interpretación de este resultado. Por ejemplo, podría plantearse si el signo negativo de GINI obtenido en las dos versiones cuadráticas del modelo implica una asociación positiva entre emisiones y desigualdad cuyo corolario sería la conveniencia de aumentar la desigualdad en la distribución de la renta para reducir las emisiones contaminantes. Siguiendo a SARAVIA (2005), la respuesta es negativa: la mayor desigualdad en la distribución del ingreso es perversa para la calidad ambiental y vendría a constituir una de las razones que impedirían alcanzar antes el punto de quiebra.

El signo negativo obtenido para la variable GINI indica que las emisiones de GEI_{PC} son menores cuando hay mayor desigualdad. En el *Modelo 1* la introducción de la variable ficticia aporta mayor estabilidad al corregir el cambio de estructura que se produce a partir de 2005, como consecuencia del cambio regulatorio en el sistema de remuneración del Régimen Especial (Real Decreto 436/2004). En cambio, la incorporación de la variable PATROCEN en

[29] En BOYCE (1994), el argumento desarrollado de que el deterioro ambiental se asocia con una elevada desigualdad en el ingreso, gira en torno a la idea de que la élite en estas sociedades busca réditos a corto plazo mediante actividades muy agresivas con el medio ambiente. Por su parte, en RAVALLION *et al.,* (2000) se propone la conveniencia de acometer políticas pro-pobres para mejorar la calidad ambiental a largo plazo.

el *Modelo 2* permite prescindir de la variable ficticia, al no observarse cambio de estructura en todo el periodo de análisis.

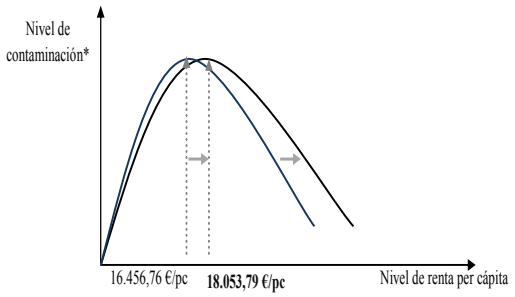
5.3. Obtención de los puntos de quiebra

Los resultados obtenidos avalan la proposición de que un proceso de sustitución energética hacia fuentes renovables permite una disminución en los niveles de contaminación medioambiental en un entorno de crecimiento económico positivo. Además, de acuerdo con CORREA (2007:24) y a partir del ajuste realizado, es posible obtener el punto de quiebra (o punto umbral) de la variable PIB_{PC}* a partir del cual comienzan a disminuir las emisiones de GEI, esto es, el nivel del ingreso per cápita donde se produce el punto de inflexión de las crecientes emisiones contaminantes (figura 3).

Figura 3
Cálculo del punto umbral ($PIB_{PC}^{*} = -\beta_1/2\beta_2$)

Punto Umbral resultante en el modelo 1	
PIB_{PC} (β_1)	0,00199348
PIB^2_{PC} (β_2)	-6,06e-08
Y*= 16.456,76 €/pc.	
Punto Umbral resultante en el modelo 2	
PIB_{PC} (β1)	0,00143953
$PIB2_{PC}$ (β2)	-3,98678e-08
Y*= 18.053,7928 €/pc	

Figura: Punto de Y*



Fuente: Elaboración propia.

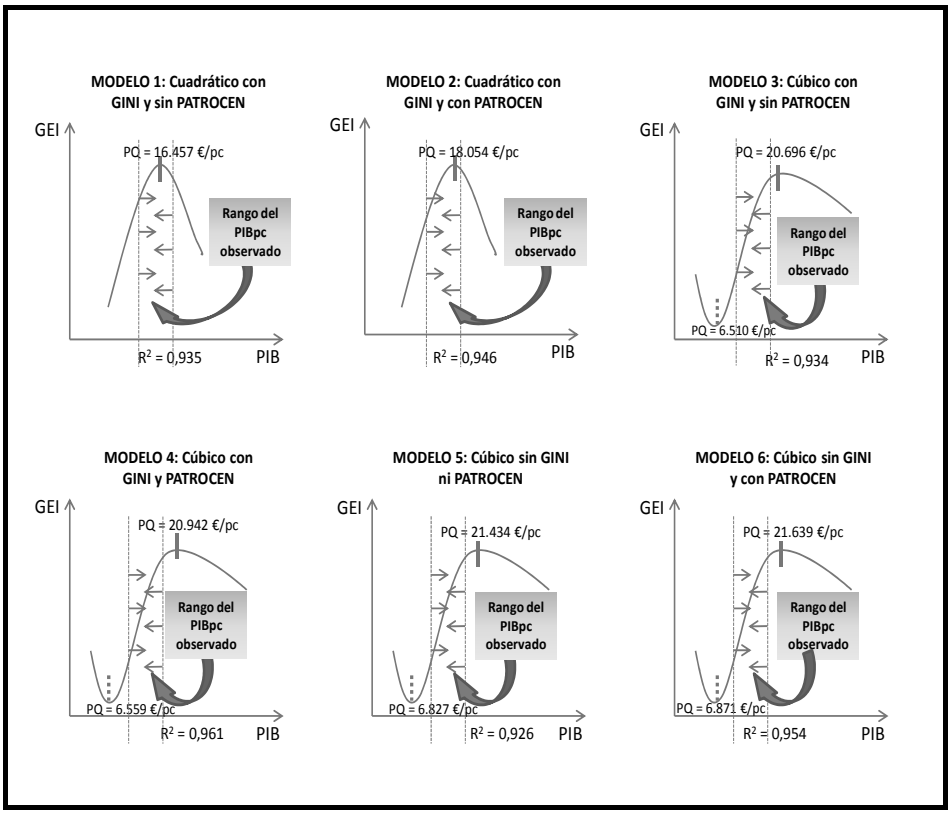
El punto umbral de la renta resultante en el *Modelo 1,* cuando no se incluye el patrón de consumo (PATROCEN), es de 16.456 euros per cápita, mientras que el punto umbral resultante para el *Modelo 2,* una vez incorporada la variable PATROCEN, es de 18.053 euros per cápita. Cabe señalar que la diferencia de umbral observada entre ambos modelos estaría relacionada con el sobreesfuerzo económico que supone para los consumidores finales de energía la incorporación de las fuentes renovables al patrón de consumo energético, al ser éstas más costosas, lo que frenaría la demanda de calidad ambiental[30].

[30] Estadísticamente, el punto umbral para el *Modelo 2* se obtiene en 2007, cuando la renta per cápita alcanza los 18.404 euros y el patrón de renovables frente a convencionales presenta una tasa de crecimiento con respecto a 2006, del 6,8%.

5.4. Resultados con una especificación cúbica del modelo

Como puede verse en la figura 4, en nuestras versiones del modelo cúbico (modelos 3 a 6) los valores calculados para los puntos de quiebra iniciales caen fuera del rango de datos observados para el PIB_{pc}, por lo que la parte descendente de la función estimada cae fuera del rango de datos observado. Esta circunstancia, unido al hecho de que muchos de los trabajos tienen por objetivo obtener un punto de quiebra a partir del cual mayores niveles de ingreso se relacionan con menor estrés ambiental, hace que quede en un segundo plano el objetivo de buscar un mejor ajuste para la propensión marginal a emitir (PME) mediante el uso de modelos cúbicos. No obstante, además de las dos versiones cuadráticas del modelo, ya vistas, hemos estimado otras cuatro variantes adaptadas a la forma cúbica.

Figura 4
Valores de quiebra estimados para el modelo cuadrático y cúbico: Var. Dep. Gases de Efecto Invernadero (GEI_{pc})



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 3, con carácter general el ajuste del modelo mejora en relación a las versiones cuadráticas, manteniéndose el nivel de significación de los parámetros de ingreso, pero dejando de ser significativo el parámetro de la desigualdad medida por el índice de GINI. Otra diferencia reseñable es que la variable PATROCEN también resulta significativa en estas versiones, mejorando ostensiblemente la calidad del ajuste general en relación a las versiones sin esta variable (modelo 4 en relación al 3 y modelo 6 en relación al 5). Finalmente, en la figura 4 puede verse que los puntos superiores de quiebra son más elevados en las versiones cúbicas del modelo, quedando en todos los casos fuera del rango observado de la renta per cápita para el período estudiado (10.452€ - 18.473€); esto es, en España todavía no se habría alcanzado el punto de quiebra a partir del cual las emisiones empiezan a descender.

Tabla 3
Resultado estimaciones CKA para España *(GEI_{PC})*

Var. dependiente: GEI_{pc}							
	α	***PIB_{PC}***	***PIB^2_{PC}***	***PIB^3_{PC}***	***GINI***	***PATROCEN***	***R-cuadrado***
Modelo 1	3,20	1,99e-03 ***	-1,00e-07 ***	—	-0,318 ***	—	0,93
Modelo 2	6,64 **	1,44e-03 ***	-3,99e-08 **	—	-0,256 ***	-28,267 **	0,94
Modelo 3	47,10 **	-8,39e-03	6,44e-07 *	-1,56e-11 *	-0,144	—	0,93
Modelo 4	45,03 **	-7,50e-03 *	5,72e-07 *	-1,36e-11 **	-0,134	-26,170 **	0,96
Modelo 5	64,29 ***	-1,29e-02 ***	9,45e-07 ***	-2,20e-11 ***	—	—	0,91
Modelo 6	60,95 ***	-1,17e-02 ***	8,51e-07 ***	-1,90e-11 ***	—	-26,715 **	0,95

Modelo 1: Cuadrático con GINI y sin PATROCEN; Modelo 2: Cuadrático con GINI y con PATROCEN; Modelo 3: Cúbico con GINI y sin PATROCEN; Modelo 4: Cúbico con GINI y con PATROCEN; Modelo 5: Cúbico sin GINI y sin PATROCEN; Modelo 6: Cúbico sin GINI y con PATROCEN

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Resultados utilizando la contaminación del agua

Aunque son mayoría los trabajos sobre la CKA que han utilizado como variable dependiente algún indicador de contaminación del aire, en algunos contrastes empíricos también ha sido objeto de atención la contaminación del agua, para lo que se suelen utilizar los indicadores más conocidos: demanda biológica de oxígeno (DBO), fósforo total, nitrato u oxígeno disuelto[31]. En un

[31] El indicador DBO es el más utilizado y aspira a medir la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l) y, a veces, aparece representada por DBO_5, donde el número indica que las muestras se toman 5 días después de la reacción.

estudio reciente, HWANG (2007) apunta que la relación entre la contaminación del agua y el PIB_{pc} debe ser diferente a la que se establece con la contaminación del aire, puesto que las fuentes contaminantes también difieren. De este modo, un déficit de oxígeno en el agua que tiene su causa en un inadecuado tratamiento de los residuos urbanos, suele darse en mayor medida en las economías poco desarrolladas, al contrario de lo que cabría esperar en la mayoría de casos de contaminación del aire. Por eso, es frecuente observar que la calidad del aire tiende a empeorar más rápidamente que la calidad del agua, conforme se alcanza un mayor grado de industrialización (GROSSMAN y KRUEGER, 1995).

Las circunstancias descritas predicen que la sensibilidad de la contaminación del agua en relación con el avance del PIB_{pc}, será menor que la obtenida con la contaminación del aire, sobre todo, en un país como España que se encuentra en un estadio de desarrollo más bien elevado[32]. Por otro lado, teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos en este trabajo es capturar la influencia de la regulación del sector eléctrico (sustitución energética) sobre la contaminación, cabe esperar una relación significativa de la variable PATROCEN con los contaminantes del aire, pero poco significativa con los contaminantes del agua, dado que la fuente de contaminación en la producción y el consumo de energía es manifiestamente aérea.

Con el fin de contrastar la CKA utilizando la contaminación del agua, hemos sustituido la variable GEI por la variable DBO, y han vuelto a ser estimadas las seis variantes del modelo, aplicando todos los criterios y contrastes estadísticos ya vistos para el modelo de GEI. Como se aprecia en la tabla 4, en el caso de los dos modelos cuadráticos (1 y 2), los estimadores para PIB_{pc} y PIB^2_{pc} se han obtenido con un nivel de confianza del 90% (relativamente bajo) y un R^2 de 0,31 y 0,38, respectivamente, no resultando significativas las variables GINI y PATROCEN. En las cuatro versiones cúbicas del modelo, los estimadores del PIB se han obtenido, en general, con menores niveles de significación, los R^2 obtenidos son inferiores a las estimaciones realizadas a partir de la contaminación del aire y tampoco resultan significativas las variables GINI y PATROCEN. Estos resultados son coherentes con lo argumentado en los dos párrafos anteriores.

[32] En CORREA (2007) se lleva a cabo una estimación de la CKA para varios países de América Latina utilizando como contaminante la DBO del agua, donde se obtienen unos buenos estimadores para PIB_{pc} y PIB^2_{pc} con un nivel de confianza del 99%, un buen ajuste general del modelo, pero con unos puntos de quiebra calculados sensiblemente inferiores a los obtenidos cuando se utilizan indicadores de contaminación del aire. Por su parte, las estimaciones realizadas en HWANG (2007) para una muestra de siete países de la Europa del Este, con unos niveles de renta per cápita algo superiores a los de América Latina, arrojan una capacidad de ajuste general del modelo (R^2) muy moderada que oscila entre 0,32 y 0,39 en las distintas estimaciones realizadas.

Tabla 4
Resultado estimaciones CKA para España *(DBO)*

Var. dependiente: DBO (Demanda Biológica Oxígeno)							
	α	***PIB_{PC}***	***PIB^2_{PC}***	***PIB^3_{PC}***	***GINI***	***PATROCEN***	***R-cuadrado***
Modelo 1	1,87	1,17e-03	-3,90e-08 *	—	-5,29e-02	—	0,31
Modelo 2	2,10	1,18e-03 *	-3,90e-08 *	—	-4,27e-02	-10,26	0,38
Modelo 3	88,32 ***	-1,69e-02	1,18e-06 ***	-2,70e-11 ***	2,76e-05	—	0,71
Modelo 4	84,46 **	-1,61e-02 **	1,12e-06 **	-2,58e-11 **	1,97e-03	-4,38	0,73
Modelo 5	88,32 ***	-1,69e-02 ***	1,18e-06 ***	-2,70e-11 ***	—	—	0,71
Modelo 6	84,34 ***	-1,60e-02 **	1,12e-06 ***	-2,50e-11 ***	—	-4,37	0,73
Modelo 1: Cuadrático con GINI y sin PATROCEN; Modelo 2: Cuadrático con GINI y con PATROCEN: Modelo 3: Cúbico con GINI y sin PATROCEN; Modelo 4: Cúbico con GINI y con PATROCEN; Modelo 5: Cúbico sin GINI y sin PATROCEN; Modelo 6: Cúbico sin GINI y con PATROCEN							

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Ante el problema que representa el cambio climático en diversos órdenes de la actividad diaria de las personas, hemos abordado conjuntamente dos campos de investigación que no siempre han ido de la mano. Por un lado, el análisis económico de la energía tradicionalmente se ha enfocado desde el punto de vista de la escasez de las fuentes energéticas no renovables y desde la posición estratégica de los países consumidores frente a los productores de este tipo de energía. Por otro lado, solo en fechas más recientes se ha puesto el énfasis en el impacto negativo sobre el medio ambiente derivado de los procesos de producción y consumo de energía, aunque es todavía más escaso el acervo de estudios económicos sobre el impacto de las políticas de sustitución energética.

En este trabajo adoptamos el enfoque de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), primero, para buscar evidencia de que se cumple para España la relación en forma de U-invertida entre el PIB_{pc} y las emisiones contaminantes medidas por los gases de efecto invernadero, en su conjunto, considerados como emisiones de amplio espectro. Segundo, hemos intentado obtener evidencia sobre uno de los componentes que apuntaban ANDREONI y LEVINSON (1998) como presentes en la relación nivel de ingresos-contaminación, en concreto, de la actividad regulatoria en materia de energía y su impacto positivo en la reducción de emisiones por la vía de la mejora tecnológica.

Tanto en las estimaciones que siguen la pauta de una especificación cuadrática, como en las que atienden a una especificación cúbica del modelo, hemos obtenido evidencia de que, una vez alcanzado un cierto umbral de renta per cápita, las emisiones de GEI comienzan a descender, lo que también se produce cuando queda sustituida esta variable por la de demanda biológica de oxígeno (DBO) como principal indicador de contaminación del agua. Además,

al controlar dicho ajuste mediante un indicador de desigualdad económica de la población, los resultados obtenidos arrojan una relación negativa entre desigualdad y emisiones contaminantes, en el sentido ya corroborado en SCRUGGS (1998), HEERINK *et al*., (2001) y SARAVIA (2005), entre otros, si bien dicha relación solo se produce en las especificaciones cuadráticas del modelo y solo para la contaminación del aire. Finalmente, hemos obtenido evidencia de que la sustitución de fuentes energéticas tradicionales y contaminantes por otras fuentes renovables, se asocia con menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, con independencia de las especificaciones cuadráticas o cúbicas del modelo, no encontrando relación alguna entre la sustitución energética y la contaminación del agua, tal y como esperábamos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHION, P.; y HOWITT, P. (1992): "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, Econometric Society, vol. 60(2), pp. 323-51.

AGOSTINI, L.; y PADILLA, J. (2010): *La promoción de las energías renovables: La experiencia española*, Electricidad Verde: Energías Renovables y Sistema Eléctrico, pp. 517-541. MOSELLE B.; PADILLA, J.; y SCHMALENSEE, R. (eds.), Marcial Pons, Madrid, Barcelona, Buenos Aires.

ALFRANCA, O. (2007): "Política fiscal, crecimiento económico y medio ambiente", *Revista de economía*, *ICE*., n. 835, pp.77-93.

ALFRANCA, O. (2009): "Regulación ambiental e innovación", *Clm.economía: Revista económica de Castilla - La Mancha*, n. 15, pp. 9-31.

ANDREONI, J.; y LEVINSON, A. (1998): *The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve*, *NBER Working Papers*, n. 6739.

ARROW, K.; BOLÍN, B.; CONSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C.; JANSSON, B.; LEVIN, S.; MÄLER, K.; PERRINGS C.; y PIMENTEL, D. (1995): "Economic growth carrying capacity, and the environmental", *Science*, n. 268, pp. 520-521.

BORGHESI, S. (2000): *Income Inequality and the Environmental Kuznets Curve,* Fondazione Eni Enrico Mattei, *Nota Di Lavoro*, n. 83.

BOYCE, J. (1994): "Inequality as a cause of environmental degradation". En *Ecological Economics*, n. 11, pp. 169-178.

BROCK, W.A.; TAYLOR, M.S. (2005): "Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics", en *Handbook of Economic Growth* (Chapter 28), (SUPPL. PART Estudios de Economía Aplicada B), pp. 1749-1821.

CAPÓ, J. (2009): *Curva de Kuznets Ambiental: evidencia para Europa*, Documento de trabajo, Universidad des Illes Balears.

CE (1999): "Extern-E, Externalities of Energy", *European Commission*, Luxembourg.

CE (2008): *Climate Action. Energy for a changing world*, European Commission, Brussels.

CMMAD (THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT) (1987): *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, New York, 400 pp.

COLLADO, E. (2009): *Energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos*, Tesis doctoral. UNED

CORREA, F. (2007): *Crecimiento económico, desigualdad social y medio ambiente: evidencia empírica para América Latina*, Grupo de Economía Ambiental. Universidad de Medellín.

CORREA, F.; Grupo de Economía Ambiental-GEA (2004): "Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets". *Semestre Económico*, núm. Julio-Diciembre, pp. 73-104.

DASGUPTA, P.S.; y HEAL, G. (1979): *Economic Theory and Exhaustible Resources,* Cambridge Economic Handbook, Cambridge.

DE BRUYN, S. (1997): "Explaining the Environmental Kuznets Curve: structural change and international agreements in reducing sulphur emissions", *Environment and Development Economics*, n. 2, pp. 485-503.

DE BRUYN, S. (2000): *Economic growth and the environment: an empirical analysis*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-98.

DE CASTRO, L.M. (2009): "Crecimiento Económico y Medioambiente", *Economía y Medio Ambiente*, n. 847, pp. 93-110.

DEL RÍO, P.; LABANDEIRA, X.; y LINARES, P. (2009): "La interacción del sistema europeo de comercio de emisiones con otros instrumentos de política", *Papeles de Economía Española*, n. 121, pp. 211-223.

DIAZ-VAZQUEZ, M. R; CANCELO, M. T. (2009): "Emisiones de CO2 y Azufre y Crecimiento Económico: ¿Una Curva De Kuznets Ambiental?", *Regional and Sectorial Economic Studies*, Euro-American Association of Economic Development, vol. 9(2).

DINDA, S. (2004): "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a survey", *Ecological Economics*, n. 49, v. 4, pp. 431-455.

EKINS, P. (1997): "The Kuznets Curve for the environment and economic growth: Examining the evidence", *Environmental and Planning*, n. 29, pp. 805-830.

EKINS, P. (2000): *Economic growth and environmental sustainability: the prospects for green growth*, Rowtledge, London.

ESTEBAN, L.; FEIJOÓ, M.; HERNÁNDEZ, J.M. (2003): "Eficiencia energética y regulación de la industria española ante el cambio climático", *Estudios Economía Aplicada*, vol.21-2, pp. 259-282.

FOGEL, R. (2000): "Simon S. Kuznets: April 30, 1901-July 9, 1985"; NBER Working Paper series; n. 7787.

GILLINGHAM, K.; y SWEENEY, J. (2010): "Fallos de mercado y la estructura de las Externalidades", en *Electricidad Verde: Energías Renovables y Sistema Eléctrico*, pp. 127-166. MOSELLE B.; PADILLA, J.; y SCHMALENSEE, R. (eds.), Marcial Pons, Madrid, Barcelona, Buenos Aires.

GRADUS, R.; y SMULDERS, S. (1993): "The trade-off between environmental care and long term growth pollution in three prototype growth models", *Journal of Economics*, n. 58, pp. 25-51.

GROSSMAN, G.; HELPMAN, E. (1991): *Innovation and growth in the global economy*, Cambridge, MA, MIT Press, Cambridge.

GROSSMAN, G.; y KRUEGER, E. (1991): "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement," NBER Working Paper no. 3914, 1991.

GROSSMAN, G.; y KRUEGER, E. (1995): "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, v. 110, n. 2, pp. 353-377.

HEERINK, N.; MULATU, A.; BULTE, E. (2001): "Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets curves", en *Ecological Economics*, n.38, pp. 359-367.

HERNÁNDEZ, F. y DEL RÍO, P. (2007): *El Protocolo de Kioto y su impacto en las empresas españolas*, CSIC.

HETTIGE, H.; MANI, M. y WHEELER, D. (1998): *Industrial Pollution in Economic Development: Kuznets Revisited*, Banco Mundial, Grupo de investigaciones sobre el desarrollo, Documento de trabajo, n. 1876.

HWANG, H. (2007): "Water Quality and the End of Communism: Does a Regime Change Lead to a Cleaner Environment?", *Working Papers, Brandeis University*.

IDAE (2008): *Análisis Global y Sectorial de la evolución del consumo y de la intensidad energética en España. Comparación a nivel europeo*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.

IEA (2007): *World Energy Outlook*, International Energy Agency, Paris.

IPCC (1996): *Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change*, Contribution of working group iii to the second assessment of the intergovernmental panel on climate change", Cambridge University Press.

KEMP, R.; y SOETE, L. (1990): *Inside the «Green Box»: on the economics of technological change and the environment*, FREEMAN, C.; y SOETE, L. (eds.): New Explorations in the Economics of Technological Change, Pinter, London.

LINARES, P. (2002): "Externalidades de la energía y su valoración", en GAGO, A.; y LABANDEIRA, X. (eds.): *Energía, Fiscalidad y Medio Ambiente en*

España; Colección de Estudios de Hacienda Pública, Instituto de Estudios Fiscales, Madrid.

MARTÍNEZ, M.; SÁNCHEZ, M. (1998): "Crecimiento económico y calidad medioambiental*", Estudios Economía Aplicada*, n.9, pp. 103-118.

MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; y BEHRENS, W. (1972): *Los límites del crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, Madrid

MUÑOZ, M.P.; y MÁRQUEZ, M.D. (2009): "Generación de energía eléctrica: España 2020 ¿será sostenible?", *Revista CLM economía*, n. 15, pp. 153-178.

PANAYOTOU, T. (1993): *Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*, Working Paper, n. 238, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva.

PULIDO, A. (2003): "Desarrollo sostenible: un reto central para el pensamiento económico", *Estudios de Economía Aplicada*, v. 21(2), pp. 203-230.

RAVALLION, M.; HEIL, M.; y JALAN, J. (2000): *Carbon emissions and income inequality*, Oxford Economic Papers, n. 52: 651-669.

ROCA J.; y PADILLA, E. (2003): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La Curva de Kuznets Ambiental y el Protocolo de Kioto", *Economía Industrial*, n. 351, 2003/III, pp. 73-86.

ROMER, P.M. (1987): "Growth based on increasing returns due to specialization", *The American Economic Review*, v. 77, n. 2, pp. 56-62.

SARAVIA, A. (2002): *La curva medio ambiental de Kuznets para América Latina y el Caribe*, Documento de reflexión académica, n. 23, pp. 10-25, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

SARAVIA, A. (2005): "Evidencias de la Relación Medio Ambiente-Economía en el caso Latinoamericano", en *Estay, Jaime (ed.): La Economía Mundial y América Latina: Tendencias, Problemas y Desafíos*, pp. 259-280, Collection Working Groups; CLACSO.

SCHUMPETER, J.A. (1942): *Capitalismo, socialismo y democracia,* (Ed.1983), Orbis, Barcelona.

SCRUGGS, A. (1998): "Political and economic inequality and the environment," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 26(3), pp. 259-275.

SELDEN, T.; y SONG, D. (1995): "Neoclassical growth, the j curve for abatement, and the inverted u curve for pollution", *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 29, n. 2, pp. 162-168.

STERN, D.I.; COMMON, N.S.; y BARBIER, E.B. (1996): "Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development", *World Development*, n. 24, pp. 1151-1160.

STERN, N. et al. (2006): *The Economics of Climate Change: Stern Review*, HM Treasury, London.

THOTHATHRI, R. (1999): "The wind brought jobs and prosperity", *New Energy*, n. 4, pp. 28-30.

TIROLE, J. (1988): *The Theory of Industrial Organization*, The MIT Press, Cambridge, MA.

TORRAS, M.; y BOYCE, J. (1998): "Income, inequality, and pollution: a reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, n. 25, pp. 147-160.

UNRUH, G.C. & MOOMAW, W.R. (1998): "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, n.25, pp. 221-229.

VICTOR, P.A. (2010): "Ecological economics and economic growth!", *Annals of the New York Academy of Sciences,* 1185, pp. 237-245.

XEPAPADEAS, A. (2005): "Economic growth and the environment", en *K. G. Mäler & J. R. Vincent (ed.): Handbook of Environmental Economics*, ed. 1, vol. 3, chap. 23, pp. 1219-1271.