

# LA CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS Y LA INNOVACIÓN ENERGÉTICA EN PAÍSES DE LA OCDE.

## *ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE AND ENERGY INNOVATION IN OECD COUNTRIES*

DANIEL BALSALOBRE LORENTE

DPTO. ECONOMÍA POLÍTICA Y HACIENDA PÚBLICA, ESTADÍSTICA ECONÓMICA Y EMPRESARIAL Y POLÍTICA ECONÓMICA  
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA

DANIEL.BALSALOBRE@UCLM.ES

AGUSTÍN ÁLVAREZ-HERRÁNZ

DPTO.DE ECONOMÍA ESPAÑOLA E INTERNACIONAL, ECONOMETRÍA E HISTORIA E INSTITUCIONES ECONÓMICAS. UNIVERSIDAD  
DE CASTILLA LA MANCHA

AGUSTIN.ALVAREZ@UCLM.ES

ANTONIO OLAYA INIESTA

ANTONIO.OLAYA@UCLM.ES

DPTO. ECONOMÍA POLÍTICA Y HACIENDA PÚBLICA, ESTADÍSTICA ECONÓMICA Y EMPRESARIAL Y POLÍTICA ECONÓMICA  
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA

JOSÉ MARÍA CANTOS CANTOS

JOSEMARIA.CANTOS@UCLM.ES

DPTO. ECONOMÍA POLÍTICA Y HACIENDA PÚBLICA, ESTADÍSTICA ECONÓMICA Y EMPRESARIAL Y POLÍTICA ECONÓMICA  
UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA

## RESUMEN

De unos años a esta parte, el panorama energético internacional se viene caracterizando por una mejora de las tecnologías energéticas. Este proceso parecía encontrarse justificado, tanto por la necesidad de corrección de las externalidades medioambientales, como por la mejora de una autosuficiencia energética, alejada de los combustibles fósiles. El presente estudio trata de poner de manifiesto cómo la innovación tecnológica en materia energética, medido a través del gasto público en I+D+i energético, ha fomentado la corrección medioambiental al ejercer una influencia positiva sobre la reducción en el nivel de emisiones GEI per cápita. Para ello, se ha empleado como herramienta de análisis la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental -CKA-, bajo el amparo de la teoría evolucionista de destrucción creadora schumpeteriana, utilizando un modelo econométrico de datos de panel con efectos fijos para 25 países de la OCDE en el periodo 1992-2010.

*Palabras claves:* Curva de Kuznets Ambiental, Crecimiento económico, I+D+i energético.

## ABSTRACT

In the last few years, the international energy outlook has been characterized by an improvement in energy technologies. This process seemed to be justified, both by the need for correction of environmental externalities, such as the improvement of a energy self-sufficiency, away from fossil fuels. This study seeks to demonstrate how the technological innovation, in the field of energy, measured from the public budget in

R+D+i energy, has promoted the environmental reliability to exert a positive influence on the reduction in the level of GHG emissions per capita. To achieve this objective, we have been using as a tool of analysis the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve -EKC-, under the support of the evolutionary theory of "creative destruction" of schumpeterian source, using an econometric model of panel data with fixed effects for 25 OECD countries in the period 1992-2010.

**JEL Classification:** Q41;Q55; Q56;032

**Keywords:** Environmental Kuznets Curve, Economic growth, energy RD&D.

## 1 INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, es reconocido el rol que la energía juega en el desarrollo y transformación económica de los países en general y sobre cada uno de los sectores productivos, individualmente considerados, en particular. Son numerosas las investigaciones que han tomado como piedra angular la energía, a través de diferentes perspectivas (Wackernagel et al, 1999; Turner y Hanley, 2011; UK Climate Change Committee, 2008), tales como el progreso tecnológico (Johansson y Kristom, 2007) o la intensidad energética (Mendiluce, et al 2010). En ellas se ha ido poniendo el acento en distintos elementos que, en mayor o menor medida, suponen un elemento de competitividad entre territorios. A esta situación, desde hace algunas décadas, se ha incorporado, de manera paulatina, pero cada vez más creciente, el análisis de la problemática medioambiental, como consecuencia de la sobreexplotación de fuentes energéticas de origen fósil. Las emisiones de gases efecto invernadero -GEI- se han analizado como factor condicionante de la sostenibilidad medioambiental de los países. Es, por este motivo, por lo que el presente estudio trata de analizar cómo la reducción de las emisiones de GEI ha estado condicionada tanto por el ciclo económico, como por el gasto público en materia de investigación y desarrollo energético.

Es innegable el hecho de que la energía constituye un input esencial en la evolución de los diferentes sistemas económicos, tanto para el funcionamiento del conjunto de actividades económicas, como para el devenir diario de la sociedad y la sostenibilidad medioambiental de la misma. La energía se encuentra presente en cada uno de los procesos productivos, funcionamiento de máquinas y tecnologías, transporte, producción de luz, calor y refrigeración, etc.; pero, sobre todo, es sinónimo de bienestar, crecimiento, desarrollo y sostenibilidad. Por ello, la energía se convierte en uno de los sectores determinantes y, a la vez, dinamizadores en el mundo actual, capaz de llegar a provocar los denominados 'cuellos de botella' en cualquier sistema económico. Las características que se aúnan en el mismo hacen que todos y cada uno de los agentes, que conforman los distintos sistemas económicos, se preocupen por la situación en la que se encuentra el sector, así como por las diferentes fuentes originarias de las cuales se obtiene la energía y el grado de impacto económico, social y medioambiental que genera su disponibilidad y utilización.

El dinamismo y reconversión, al que las economías occidentales se han visto sometidas, han impactado de lleno en el sector energético, alterando los hábitos de vida y las formas de organización social, provocando el aumento, en términos exponenciales, de la demanda energética, o acelerando al tiempo la limitación y caducidad de recursos y fuentes fósiles, siendo ésta, junto a la degradación medioambiental, una preocupación adicional, a raíz de las aportaciones de la ASPO - *Association for the Study of Peak Oil*- en torno a la Teoría del pico o cenit del Petróleo de Hubbert; y todo ello unido a la volatilidad y tensiones de los precios en los mercados, sujetos a posiciones de dominio y cartelización.

La manifestación, en el sistema, de una necesidad de ahorro y eficiencia energéticas, junto a la enorme elasticidad para la legitimación de una respuesta sobre el cambio climático en la sociedad, o las importantes inversiones en I+D+i -con fuertes desarrollos tecnológicos sobre nuevas fuentes energéticas-, se añaden, en los últimos tiempos, como elementos agregados y trascendentales a considerar en el nuevo escenario del siglo XXI. Por todo ello, la energía ha resultado ser un input básico en

el debate socioeconómico sobre las implicaciones sociales, económicas y medioambientales del modelo energético predominante en el mundo -basado en la sobreexplotación de recursos fósiles contaminantes y limitados-. Desde el Protocolo de Kyoto, o los diversos Consejos Europeos, como el de Diciembre de 2008 -en el que se establecía como objetivo medioambiental para el seno de la U.E. la concreción de la triple apuesta al 20<sup>1</sup>-, son muestra del interés que los problemas medioambientales suscitan para el conjunto de organizaciones, cuyas implicaciones, diseño y concreción de estrategias, afectan tanto al ámbito público como privado.

Es, por tanto, ante un mundo globalizado y desarrollado, donde las políticas económicas y medioambientales se enlazan con la política energética para establecer una Programación, que, cada vez, y de manera más acentuada, pasa de establecer Objetivos Indicativos a vincular el establecimiento de macromagnitudes obligatorias e imperativas en su consecución, aunque con grados de libertad en cuanto a la estrategia instrumental a adoptar.

Puesto de manifiesto el papel crucial de la energía sobre las sociedades actuales, la misma se convierte en un elemento imprescindible para el bienestar de los ciudadanos, ya sea en su vertiente de consumidores, como en el de los productores. Sin embargo, y tal como nos proponemos en este estudio, es más que evidente que la utilización de la misma se torna negativa, en tanto en cuanto, los efectos nocivos sobre el medio ambiente son innegables, con el consiguiente deterioro sobre el bienestar social.

## 2 LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LOS PROCESOS DE CORRECCIÓN MEDIOAMBIENTAL

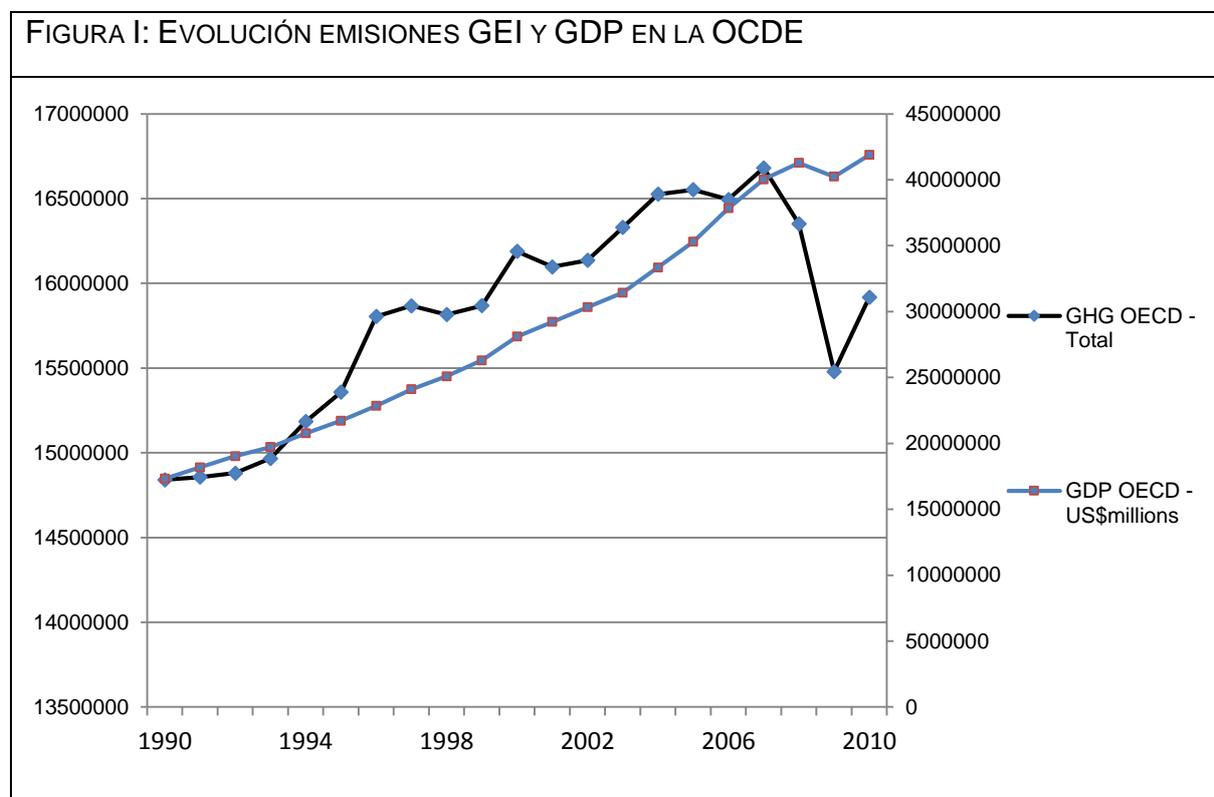
Tanto las emisiones de GEI, como los factores que en las mismas influyen, vienen siendo, en los últimos años, objeto de estudio y análisis, respecto del cambio climático. Tal como se ha puesto de manifiesto en numerosas investigaciones, las emisiones encuentran su origen en múltiples factores, tales como la población, el crecimiento económico, la estructura económica o la intensidad energética entre otros (Yong, et al. ,2000; Velthuisen y Worrel. 2002; Shi, 2003). Aportaciones más recientes han analizado cómo la modificación del patrón de consumo energético hacia las energías renovables ha influido sobre el nivel de emisiones de GEI (Fisher-Vanden, Ho, 2010; López Peña, et al, 2012).

Bajo este prisma, a nivel de la OCDE, las emisiones GEI han presentado, desde la década de los noventa, una evolución ascendente, advirtiéndose cierta corrección en el último lustro. Tal y como se desprende de la figura I, a partir de 2006, se produce una corrección en el nivel de emisiones GEI, situación que se altera en 2009, coincidiendo con el cambio en el ciclo económico internacional. Este comportamiento nos permite establecer como hipótesis, que el ciclo económico ejerce influencia sobre

---

<sup>1</sup> Involucrada en esta problemática, la U.E., se ha planificado aumentar un 20% la eficiencia energética, reducir un 20 % las emisiones de gases de efecto invernadero y alcanzar una cuota del 20 % de energías renovables en el consumo de energía global para 2020, a la vez que se persigue alcanzar una cuota del 10% de biocarburantes en el transporte, para esa misma fecha. Objetivos permanentes y reafirmados, dado que ni siquiera la crisis económica sistémica actual ha hecho reconsiderar. Estos objetivos son sumamente ambiciosos, si se toma en consideración que, actualmente, sólo el 8,5% de la energía de la UE procede de fuentes renovables (Eurostat, 2012).

el nivel de emisiones, tal y como demostraremos a lo largo del presente estudio, por medio del análisis metodológico de la curva ambiental de Kuznets (CKA).



Notas: eje principal (izda) Greenhouse gas emissions excluding -gases efecto invernadero- LULUCF (TeCO2); eje secundario (dcha.): Gross domestic product (expenditure approach)- product interior bruto- US\$, current prices, current PPPs, millions. Fuente: OCDE,2013

De acuerdo con lo ya expuesto, las emisiones GEI se encuentran íntimamente relacionadas con la intensidad energética que tiene lugar como consecuencia del desempeño de los diferentes componentes de la actividad económica y, en consecuencia, se trata de una manera de medir la eficiencia energética, siendo asumible que las medidas de I+D+i energéticas vayan encaminadas a reducir el índice de intensidad energética. Por tanto, resulta lógico considerar que las medidas de I+D+i energética tienen un papel preponderante en la reducción de emisiones GEI, en el sentido que conforme mayores sean las innovaciones cabe esperar una mayor la reducción del nivel de intensidad energética y, por ende, el nivel de emisiones, siendo este el objetivo que pretende demostrar el presente estudio.

De la relación entre la intensidad energética y el gasto público en I+D, Ruiz (2010) encuentra evidencia para España, a largo plazo, en que a pesar de no haberse producido un aumento considerable en los esfuerzos en el I+D+i energético en las últimas décadas, sí que se ha producido una reducción en la intensidad energética, justificada por la obtención de resultados, como consecuencia de los esfuerzos en innovación mantenidos en el tiempo, y que demuestran que la financiación pública de la I+D+i energética ejerce un efecto positivo sobre la calidad medioambiental, .

El estudio, que nos ocupa, tiene como objetivo encontrar evidencia generalista, para el caso de países de la OCDE, apoyándonos en estudios previos concretos, como es el caso de España (Ruiz, 2010), en los cuales se observa que el gasto público en I+D+i energético ejerce una influencia positiva sobre la calidad medioambiental, medida en una reducción en el nivel de emisiones GEI per cápita.

### 3 LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y EL MARCO TEÓRICO DE LA CKA.

Con Schumpeter (1942) se inicia la separación de las concepciones clásica y marxista sobre la competencia; con una clara y radical oposición al modelo de competencia perfecta y al enfoque estático de la competencia. Esta postura identifica a la competencia perfecta con la pequeña empresa, a la que define como “una empresa con una eficiencia interna mediocre”, frente a la gran empresa, la cual es considerada dinámica e innovadora. Desde esta “revolucionaria” conceptualización de la competencia, han surgido numerosos modelos, de corte schumpeteriano, basados en el concepto de “*destrucción creadora*” que han explicado cómo los procesos de innovación permiten sustituir bienes y técnicas obsoletas por otras más eficientes. Sobre estos procesos -de destrucción creadora- se asienta la dinámica de los modelos de competencia imperfecta, donde la evolución del capital intelectual o capacitación para la innovación, es proporcional a la frecuencia con la que se producen las innovaciones (Aghion y Howitt, 1992).

Romer (1990) apunta a que el progreso tecnológico es un elemento clave en el crecimiento económico a largo plazo, así como lo es la posibilidad de disponer de un entorno económico, caracterizado por la existencia de economías externas, capaces de generar innovaciones y de difundir los conocimientos adquiridos. A este enfoque se une una amplia evidencia teórica que demuestra que los beneficios privados de la inversión en I+D están por debajo de los beneficios sociales, de forma que sin la intervención pública es difícil lograr el óptimo social (Griliches, 1992). Ante la existencia de externalidades medioambientales negativas, Heyes y Kapur (2011) defienden que la regulación medioambiental debe ir orientada a la promoción de la innovación. Por su parte, Carrión-Flores e Innes (2010) evidencian una relación calidad medioambiental- innovación medioambiental positiva, como consecuencia de los resultados en innovación, materializados en forma de patentes medioambientales.

Ante un escenario, en el que la innovación resulta fundamental en la modificación del entorno institucional y la reestructuración sectorial, el comportamiento estratégico de las instituciones resulta fundamental para avanzar tecnológicamente. En este sentido, el planteamiento “*evolucionista*” se desenvuelve en torno al concepto schumpeteriano de destrucción creadora, en el que los procesos competitivos de innovación van a discriminar hacia aquellas empresas que se adapten de manera más eficiente al entorno socioeconómico y tecnológico imperante en cada momento (Nelson y Winter, 1982; Dosi, 1988). Con este enfoque se defiende que la innovación -tecnológica, organizacional o social- es el factor determinante de la diferenciación

productiva (Nelson y Winter, 1982)<sup>2</sup>, concluyendo que el desarrollo tecnológico es un proceso evolutivo, dinámico, acumulativo y sistémico (Vence, 1995).

Como consecuencia de la existencia de una *dinámica innovadora*, los modelos de competencia imperfecta (Aghion y Howitt, 1992)<sup>3</sup> consideran que las actividades de eliminación de residuos y contaminación fomentan el desarrollo de tecnologías limpias, capaces de reducir los niveles de deterioro medioambiental, de manera que puede resultar viable alcanzar un crecimiento sostenible que dependa básicamente de la productividad de dicha actividad (De Castro, 2009). Por el contrario, ante unos rendimientos sectoriales decrecientes, resultaría, desde el posicionamiento de la competencia imperfecta, inviable alcanzar un crecimiento económico a largo plazo sin evitar un nivel de contaminación medioambiental cada vez mayor (Torras y Boyce, 1998). Esta postura viene a justificar que para que el crecimiento económico se genere de manera sostenible ha de exigirse, como requisito indispensable, la existencia de rendimientos constantes o crecientes a escala, en actividades de innovadoras de eliminación de contaminación.

En la década de los setenta se acentúa el interés por los problemas medioambientales (Meadows et al., 1972), pero es a comienzo de la década de los noventa cuando adquiere relevancia el análisis de la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental (Groosman y Krueger, 1991) a través de la denominada Curva de Kuznets Ambiental -CKA-. Esta hipótesis empírica refuerza postulados teóricos previos planteados desde la teoría de la competencia imperfecta, de manera que el cambio tecnológico resulta fundamental en los procesos de corrección medioambiental, dentro de un respaldo teórico que asume que el crecimiento económico ejercer una fuerte influencia sobre la corrección medioambiental. Este enfoque es utilizado para demostrar cómo, a través del análisis de la CKA, tanto el crecimiento económico como la innovación tecnológica resultan fundamentales para alcanzar la una mejora de la calidad medioambiental. Por lo tanto, dicho modelo nos permite, desde un tratamiento endogenista del crecimiento económico (Dinda, 2004), analizar en qué medida el esfuerzo público en I+D+i energético tiene efectos sobre la corrección medioambiental, de manera complementaria al crecimiento económico<sup>4</sup>.

---

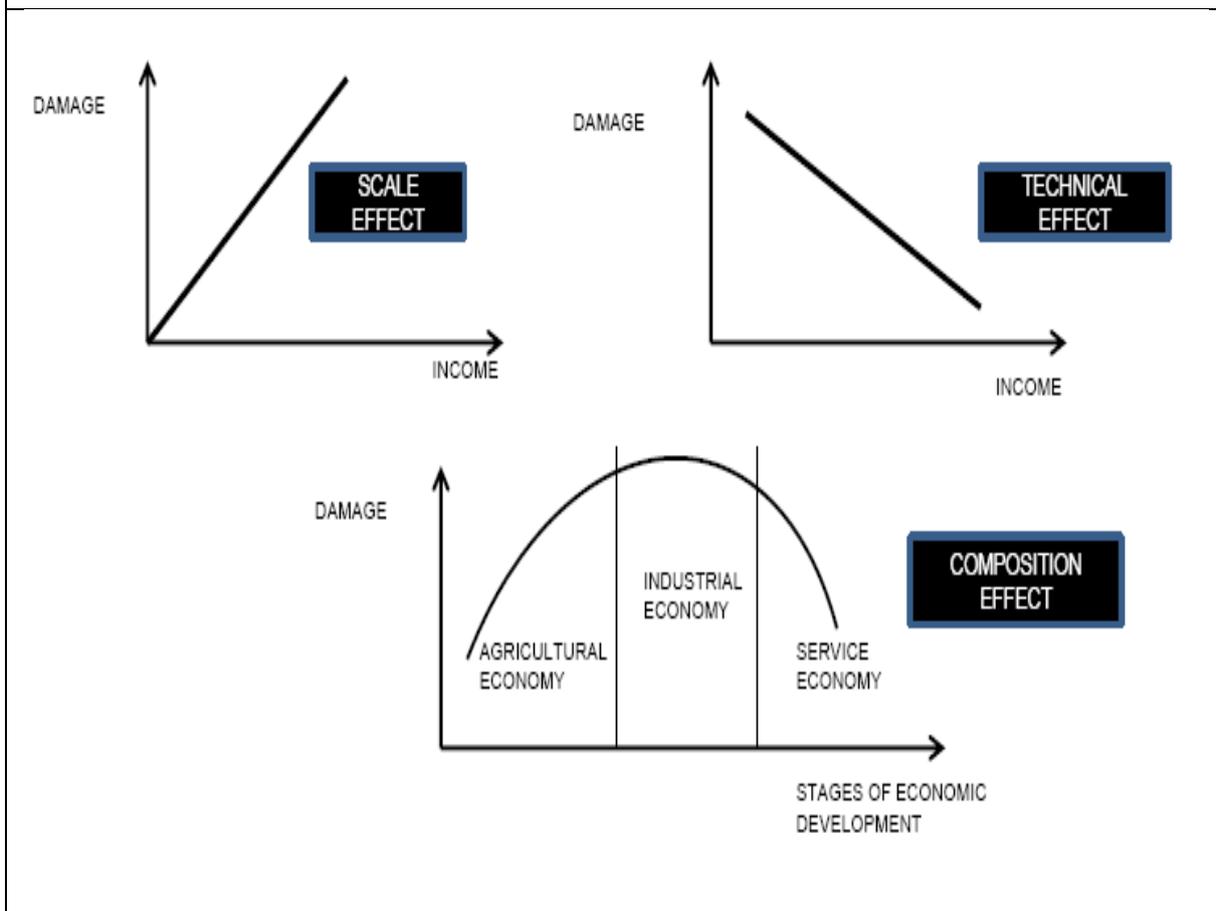
2 La separación interpretativa del rol de la innovación tecnológica permite explicar cómo algunas empresas crecen, frente a otras que manifiestan una "tendencia natural" hacia el estancamiento o la desaparición. Esta diferenciación productiva puede extraerse que la competencia no aparece tan solo vía precios (postura aferrada a la corriente neoclásica) sino que la "destrucción creadora" schumpeteriana interviene en los procesos de competencia. En este sentido las empresas, o los sectores productivos, van a expulsar del mercado a todos aquellos agentes productivos incapaces de adaptarse al cambio. Dicho de otro modo, este enfoque neoschumpeteriano considera, frente a la postura neoclásica, que el crecimiento económico encuentra asociado a una diversidad alejada de los estándares productivos -best practice-.

<sup>3</sup> Aghion y Howitt, (1992) apuntan al hecho de que sin regulación en los mercados, dentro del marco de la competencia imperfecta, la calidad medioambiental se va a ver reducida de forma ilimitada, debido a que los agentes económicos no encuentran incentivos a la internalización de los costes sociales.

<sup>4</sup> Andreoni y Levinson (1998) establecen que la tecnología de reducción de la contaminación puede ser considerada como el eje central de este modelo CKA. Estos autores afirman que el crecimiento económico, por sí solo, no va poder resolver los problemas de contaminación ya que, en ausencia de regulaciones ambientales, la trayectoria 'nivel de ingresos/calidad medioambiental', aun teniendo forma de U-invertida, puede llevar a que se

El modelo CKA responde, en su versión originaria, a una relación en forma de U-invertida entre la calidad medioambiental y el crecimiento económico. Este esquema de comportamiento plantea que el crecimiento reduce la calidad medioambiental, hasta alcanzarse cierto nivel de renta -denominado *punto de quiebra*- a partir del cual se iniciará una corrección medioambiental. Tal y como señalan Jaffe et al. (2003), este fenómeno responde a la existencia de un efecto composición en el que las economías transitan desde un sistema con base industrial -con elevados niveles de contaminación- hacia un sistema económico predominado por el sector servicios e industrias menos contaminantes y más eficientes en términos energéticos (figura II).

FIGURA II: EFECTOS ESCALA, TECNOLÓGICO Y COMPOSICIÓN.



Fuente: Elaboración propia, a partir de Halkos (2011)

El hecho de que las economías conforme incrementan su nivel de renta demanden mejoras en sus niveles de calidad medioambiental, llevara a crear disposiciones regulatorias encaminadas a la corrección medioambiental (Bruvold et al., 2003). De la aplicación de dichas medidas regulatorias, surgirá un efecto tecnológico proveniente de un uso energético más eficiente, como por ejemplo son los estándares de eficiencia en el uso de combustibles o la construcción de materiales más eficientes (Turner y Hanley, 2011). Por lo tanto, dentro de este análisis CKA, las tecnologías de descontaminación juegan un papel fundamental en la explicación de la relación

---

alcanse el tramo descendente de la curva (reducción de contaminación) para un nivel de ingresos excesivo e innecesariamente elevado.

crecimiento económico/calidad medioambiental<sup>5</sup>. Si descomponemos el efecto total<sup>6</sup>, que surge de dicha relación, el *efecto tecnológico* es considerado como el factor que mayor peso adquiere en dicha relación (Andreoni y Levinson, 1998)<sup>7</sup>. Existe una amplia evidencia empírica que valida este posicionamiento (Deacon y Norman, 2006; Markandya et al., 2006; Johansson y Kristrom, 2007), donde se presenta evidencia sobre el hecho de que el desgaste u obsolescencia técnica va a provocar retornos a niveles de contaminación ascendentes.

Desde Grossman y Krueger (1991), los estudios que han analizado la relación entre el crecimiento económico y la calidad medioambiental han arrojado diferentes patrones de comportamiento en dicha relación (figura III) <sup>8</sup>.

FIGURA III: PATRONES DE LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL
---

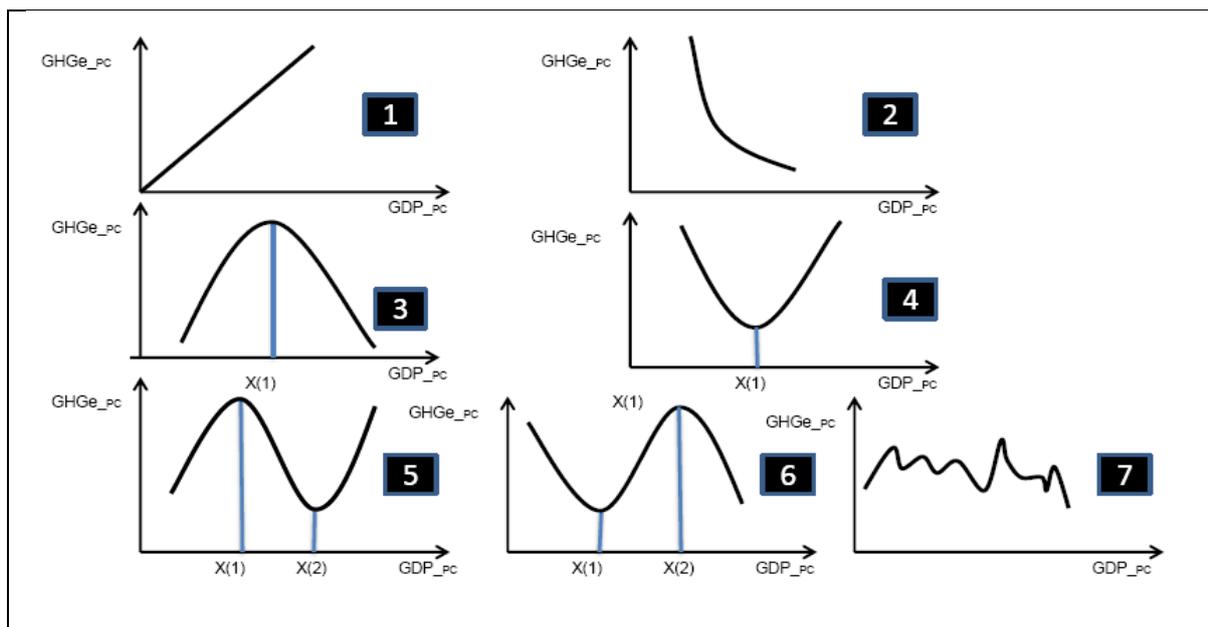
---

5 A simple vista, puede parecer que el modelo omite el hecho de que los problemas medioambientales puedan provocar externalidades; sin embargo, Andreoni y Levinson (1998) resuelven esta cuestión al considerar que la relación 'nivel de ingresos/calidad medioambiental' 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. Unruh y Moomaw (1998) señalan la importancia del mercado como institución capacitada para prevenir la degradación medioambiental, donde 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).

6 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 permite invertir la pendiente de la curva (Rothman, 1998; Hettige et al., 2000;). Conforme los países alcanzan una mayor renta per cápita, se produce un desplazamiento hacia el sector terciario, relocalizándose las industrias contaminantes en países en vías en desarrollo.

7 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/calidad medioambiental' 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 por otros más eficientes. Entre los trabajos que han "endogenizado" los avances técnicos para abordar cuestiones medioambientales y de sostenibilidad, destacan las aportaciones de Gradus y Smulders (1993); Bergh y Nijkamp (1994); Bovenberg y Smulders (1995); o Smulders y De Nooij (2003).

8 La CKA muestra evidencia sobre el hecho de que existe 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, de manera estandarizada, un patrón en forma de U-invertida (Grossman y Krueger, 1991). En el corto plazo, la degradación medioambiental aumenta con el crecimiento económico pero, alcanzado un determinado nivel de renta, un aumento del mismo se asociaría con una mejora de la calidad ambiental. Grossman y Krueger (1991) evidencian una relación en forma de U invertida entre contaminantes y crecimiento económico. Por su parte, Shafik y Bandyopadhyay (1992), el Banco Mundial (1992), Panayotou (1993), Selden y Song (1994) o Grossman y Krueger (1995), han extrapolado la relación equidad/ingresos propuesta por Kuznets, obteniendo una evidencia similar al de una U-invertida para diferentes niveles de ingreso a la obtenida por Grossman y Krueger (1991).



- (1) Si  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , relación monótona creciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con altos niveles de emisiones.
- (2) Si  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ , relación monótona decreciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con niveles decrecientes de emisiones.
- (3) Si  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 = 0$ , 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  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ ,  $\beta_3 = 0$ , relación cuadrática en forma de U, inversa a la CKA.
- (5) Si  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 > 0$ , 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  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$ ,  $\beta_3 < 0$ , polinomio cúbico, inverso a la forma de N.
- (7) Si  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ , comportamiento plano, indicando que las emisiones no son influenciadas por el nivel de ingresos

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro estudio partimos de un esquema teórico que nos permite contemplar distintos patrones (figura III) de relación entre calidad medioambiental y nivel de ingresos (Grossman y Krueger, 1995):

$$EP_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 Y_{pcit} + \beta_2 Y_{pcit}^2 + \beta_3 Y_{pcit}^3 + \beta_4 Z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde EP es la polución o deterioro medioambiental;  $Y_{pc}$  es el nivel de renta per cápita;  $Z_{it}$  determina las otras variables de influencia sobre la presión ambiental. El coeficiente  $\alpha$  recoge el promedio de presión ambiental cuando el nivel de ingresos no tiene especial relevancia. Los coeficientes  $\beta$  representan la importancia relativa de las variables exógenas, y la variable  $\varepsilon_{it}$  es el término de error, que se distribuye como una normal de media cero y varianza constante. El subíndice  $i$  señala el país o región,  $t$  indica el momento del tiempo.

En la figura III se observa cómo, en función del valor que adopten los coeficientes  $\beta$ , la CKA puede adoptar diversas formas, distintas a la generalizada forma de U-invertida (figura III, patrón 3). De entre el conjunto de posibles formas que puede

adoptar la CKA, vamos a prestar atención al patrón en forma de N (figura II, patrón 5) (Shafik y Bandyopadhyay, 1992; Grossman y Krueger, 1995; Torras y Boyce, 1998;). Frente a las argumentaciones del patrón en forma de N, basadas en problemas de ajuste del modelo a los datos (Grossman y Krueger, 1995; Moomaw y Unruh, 1997; Panayotou, 1997)<sup>9</sup>, Torras y Boyce (1998) consideran que ese patrón de retorno a una senda de contaminación ascendente, se debe a un *efecto escala*, derivado del agotamiento tecnológico<sup>10</sup>, en el que se superan los *efectos composición y tecnológico*, considerados éstos de manera conjunta.

#### 4 MODELO EMPÍRICO

Neumayer, (1998), Anderson y Cavendish (2001) y Pizer y Popp (2008), evidencian la relación existente entre crecimiento económico, cambio tecnológico y contaminación, argumentando que el progreso técnico resulta clave en la reducción de emisiones GEI. El presente estudio, por medio del análisis de un modelo CKA, incorpora como variable exógena una *'proxy'*, la innovación energética, por medio de la incorporación al contraste empírico de la variable gasto público en I+D+i energético, a fin de demostrar cómo el crecimiento económico y el esfuerzo en innovaciones energéticas tienen un efecto positivo sobre la reducción de emisiones GEI per cápita.

La ecuación propuesta es la siguiente:

$$GEIpc_{it} = \alpha_i + \beta_1 PIBpc_{it} + \beta_2 PIBpc_{it}^2 + \beta_3 PIBpc_{it}^3 + \beta_4 RDETPc_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Donde:

- $GEIpc_{it}$  = nivel de emisiones de gases efecto invernadero, medido en millones toneladas CO<sub>2</sub>, en términos per cápita para el país i y el año t. (OCDE, 2013).
- $PIBpc_{it}$  = nivel de renta en términos per cápita medido en US\$ millions current PPPs, para el país i y el año t. En su expresión cúbica trata de verificar que la CKA presenta forma de N, para los países y periodo analizado. (OCDE, 2013).
- $RDETPc_{it-1}$  = Gasto Público en I+D+i energético en términos per cápita en US\$ millions current PPPs para el país i y el año t-1. Esta variable presenta con un retardo de un periodo, justificado debido al hecho de que las medidas adoptadas innovadoras de esta naturaleza tarda un tiempo en tener su efecto sobre la corrección medioambiental. (OCDE, 2013).

Por lo que respecta a la estimación, se ha optado por métodos apropiados para la naturaleza de la variable dependiente y que atenúen el problema de heterogeneidad

9 Grossman y Krueger (1995) interpretan la forma de N de la CKA como un resultado estadístico, consecuencia de una estabilización en el nivel de emisiones GEI; o a un "efecto recuperación", tras el impacto inicial del shock petrolífero de los setenta. Por su parte, Moomaw y Unruh (1997) apuntan a que los países desarrollados habrían experimentado una transición estructural hacia menores emisiones de CO<sub>2</sub>, producido a raíz de la crisis de 1973, donde el término cúbico sería más el resultado del ajuste de la curva polinómica, que el reflejo de una relación estructural subyacente. Por su parte, Panayotou (1997) afirma que no debería concederse especial importancia a la posibilidad de retorno a un nuevo tramo de contaminación ascendente, dado que dicha subida suele producirse fuera del rango de los datos o en el extremo final donde hay muy pocas observaciones.

10 Bruyn, Van den Bergh, y Opschoor (1998) plantean la posibilidad de que una vez que las mejoras en la eficiencia tecnológica en el uso de recursos o las posibilidades de reducción se hayan agotado o se hayan convertido en demasiado caras, mayores crecimientos en la renta tendrán como resultado una degradación medioambiental neta.

individual inobservable que caracteriza las reducciones de emisiones GEIpc, así como los sesgos provocados por errores de especificación, es decir, se ha optado por aplicar métodos de estimación con datos de panel.

Un modelo de regresión con datos de panel se puede expresar de forma general como una regresión en el que  $Y_{it}$  es una función lineal de  $K$  variables explicativas  $X_k$  donde  $k = 1, 2, \dots, K$ :

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_k X_{kit} + U_{it} \quad (3)$$

o

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + U_{it} \quad i=1, \dots, N \quad y \quad t=1, \dots, T \quad (4)$$

donde  $i$  se refiere a las unidades sociales (personas, organizaciones, ciudades, regiones, países, etc), en nuestro caso son países, y  $t$  a la dimensión en el tiempo.  $U_{it}$  es el término de error que representa los efectos de todas las demás variables omitidas en el modelo, es decir, que es la variación observada de la variable dependiente y que no se consigue explicar mediante la variación observada en las  $K$  variables independientes. En notación matricial:

$$Y_{it} = \beta' X_{kit} + U_{it} \quad (5)$$

$\beta_k$  es un vector de  $K+1$  parámetros,  $\beta_0$  es la ordenada en el origen (término constante), mientras que el resto de parámetros son las pendientes de  $Y_{it}$  con respecto de cada una de las  $k$  variables independientes y  $X_{kit}$  es la  $i$ -ésima observación al momento  $t$  para la  $k$  variable explicativa. En este caso, la muestra total de las observaciones en el modelo vendría dado por  $N \times T$ .

El término de error  $U_{it}$ , en un modelo de datos de panel, puede descomponerse de la siguiente manera:

$$U_{it} = \alpha_i + \phi_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

donde:

$\alpha_i$  representa los efectos no observables que difieren entre los individuos pero no en el tiempo

$\phi_t$  se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo pero no entre los individuos.

$\varepsilon_{it}$  se refiere al término de error puramente aleatorio, que representa el efecto de todas las otras variables que varía entre individuos y además a través del tiempo.

Con esta estructura de error, los residuos  $U_{it}$  ya no son aleatorios. En este trabajo utilizamos el modelo de componente de error conocido como "one way", para el cual  $\phi_t=0$ , y donde el  $\alpha_i$  es un efecto fijo y distinto para cada país, por lo que la heterogeneidad no observable se incorpora a la constante del modelo.

La ecuación (2) se ha estimado, para una muestra de 25 países de la OCDE, entre los años 1992-2010, en dos fases. En primer lugar, sin incorporar la variable  $RDET_{PCit-1}$ , a fin de verificar cuál de los patrones descritos por la CKA (figura III) se corresponde con el modelo confeccionado (tabla I).

TABLA I: ESTIMACIÓN MODELO 1 DATOS PANEL, ECUACIÓN (2) SIN VARIABLE $RDET_{PCit-1}$
---

Dependent Variable: GEIpc  
Method: Panel EGLS (Cross-section weights)  
Sample: 1992-2010; Periods included: 19; Cross-sections included: 25  
Total panel (balanced) observations: 475  
Iterate coefficients after one-step weighting matrix  
Convergence achieved after 37 total coef iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	10709.79	756.7369	14.15260	0.0000
PIBpc	0.162879	0.052837	3.082693	0.0022
PIBpc^2	-4.26E-06	1.21E-06	-3.533256	0.0005
PIBpc^3	2.80E-11	7.93E-12	3.528348	0.0005
AR(1)	0.851358	0.023038	36.95381	0.0000

#### Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)			
COUNTRY	Effect	COUNTRY	Effect
Australia	12847.80	Japan	-2.187.604
Austria	-2.197.522	Korea	316.4105
Belgium	729.4599	Netherlands	1891.171
Canada	9679.293	New Zealand	5085.214
Czech Republic	445.4841	Norway	-1.020.636
Denmark	-3.659.223	Portugal	-4.197.830
Finland	1808.453	Spain	-3.483.076
France	-3.653.982	Sweden	-5.119.092
Germany	-7.451.669	Switzerland	-5.486.125
Greece	-1.227.863	Turkey	-7.406.851
Hungary	-5.346.783	United Kingdom	-2.103.143
Ireland	3450.792	United States	11356.23
Italy	-3.398.044		

#### Weighted Statistics

R-squared	0.995935	Mean dependent var	15627.18
Adjusted R-squared	0.995680	S.D. dependent var	6504.201
S.E. of regression	451.1658	Sum squared resid	90783543
F-statistic	3902.452	Durbin-Watson stat	1.982141
Prob(F-statistic)	0.000000		

#### Unweighted Statistics

R-squared	0.992672	Mean dependent var	12648.99
Sum squared resid	92990070	Durbin-Watson stat	2.146450

Inverted AR Roots .85

En segundo lugar, se estima el modelo 2 (tabla II), que incluye la variable gasto público en I+D+i energético (RDETpc<sub>it-1</sub>), con el objetivo de verificar la contribución de dicha variable a la relación crecimiento económico/calidad medioambiental establecida por la CKA (Ecuación 2).

**TABLA II: ESTIMACIÓN MODELO 2 DATOS PANEL, ECUACIÓN (2) CON VARIABLE RDETPC<sub>IT-1</sub>**

Dependent Variable: GEIpc  
 Method: Panel EGLS (Cross-section weights)  
 Sample: 1992-2010; Periods included: 19; Cross-sections included: 25  
 Total panel (balanced) observations: 475  
 Iterate coefficients after one-step weighting matrix  
 Convergence achieved after 29 total coef iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	10970.63	694.1770	15.80379	0.0000
PIBpc	0.154424	0.049548	3.116629	0.0019
PIBpc^2	-4.01E-06	1.15E-06	-3.484982	0.0005
PIBpc^3	2.62E-11	7.65E-12	3.428152	0.0007
RDETPC(-1)	-18254.08	6511.907	-2.803184	0.0053
AR(1)	0.838897	0.023233	36.10813	0.0000

Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)

COUNTRY	Effect	COUNTRY	Effect
Australia	12819.45	Japan	-1.849.432
Austria	-2.242.698	Korea	168.3475
Belgium	647.6208	Netherlands	1609.721
Canada	9771.255	New Zealand	5126.263
Czech Republic	448.2359	Norway	-1.127.908
Denmark	122.8030	Portugal	-4.147.563
Finland	2161.015	Spain	-3.649.199
France	-3.500.001	Sweden	-5.248.436
Germany	-7.509.542	Switzerland	-5.570.347
Greece	-1.377.877	Turkey	-7.587.656
Hungary	-5.291.073	United Kingdom	-1.985.570
Ireland	3427.478	United States	11506.23
Italy	-3.479.704		

Weighted Statistics

R-squared	0.996104	Mean dependent var	15657.98
Adjusted R-squared	0.995850	S.D. dependent var	6571.536
S.E. of regression	448.8423	Sum squared resid	89649439
F-statistic	3923.558	Durbin-Watson stat	1.988056
Prob(F-statistic)	0.000000		

Unweighted Statistics

R-squared	0.992789	Mean dependent var	12648.99
Sum squared resid	91505253	Durbin-Watson stat	2.164060

Inverted AR Roots .84

La estimación de los coeficientes  $\beta$ , ( $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 > 0$ ) de los modelos 1 y 2, nos permite verificar que el modelo CKA analizado responde a un patrón de

comportamiento cúbico en forma de N. Por su parte el coeficiente  $\beta_4 < 0$ , del modelo 2, nos indica que el gasto público en I+D+i energético (RDET<sub>pcit-1</sub>), tiene un efecto positivo sobre la corrección medioambiental, en términos de reducción de emisiones GEI<sub>pc</sub>, donde además el modelo 2 presenta una mejor bondad en el ajuste (R-cuadrado corregido)<sup>11</sup>, dotando a dicho modelo de una mayor precisión.

A partir del valor de los coeficientes  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$ ,  $\beta_3 > 0$  se calculan los puntos de quiebra (turning point)<sup>12</sup> de ambos modelos, a fin de poder analizar económicamente el efecto de la incorporación de medidas de innovación energética a los procesos de corrección medioambiental.

TABLA III: ESTIMACIÓN DE LOS TURNING POINTS DE LOS MODELO 1 Y MODELO 2		
Modelo 1	X1= US\$ 25.556,72	X2= US\$ 75.871,85
Modelo 2	X3= US\$ 25.756,47	X4= US\$ 76.279,15

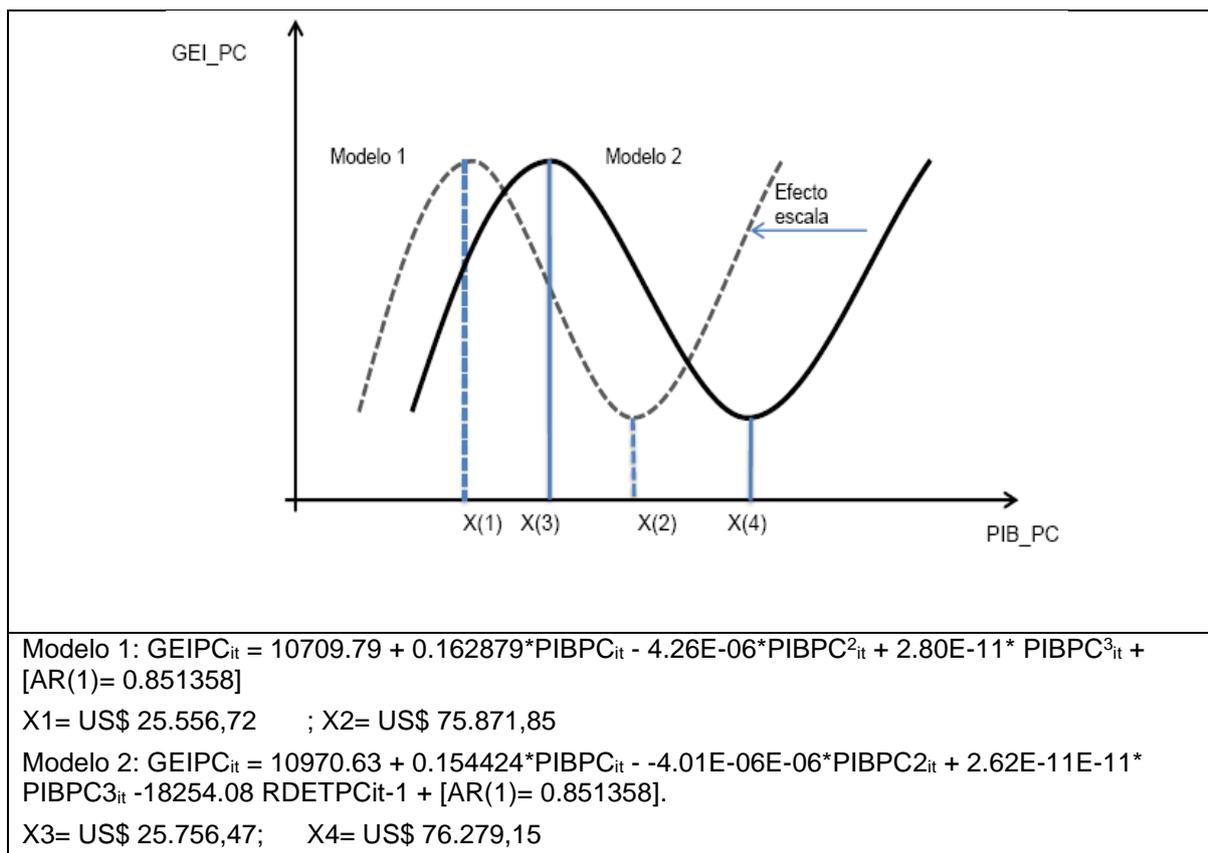
Fuente: Elaboración propia

Del análisis de los puntos de quiebra de ambos modelos (tabla III), se obtiene el impacto del gasto público en I+D+i energético, en el modelo estimado. Tal y como hemos señalado, la ecuación (2), en los modelos 1 y 2, responden a un patrón de comportamiento de la CKA en forma de N, evidenciando una relación crecimiento económico-calidad medioambiental, en la que en un primer momento el nivel de emisiones GEI<sub>pc</sub> aumenta hasta alcanzar un determinado nivel de renta (X1= US\$ 25.556,72 para el modelo 1 y X3= US\$ 25.756,47 para el modelo 2); punto a partir del cual se inicia la reducción en el nivel de emisiones, hasta alcanzar un nuevo nivel de renta (X2= US\$ 75.871,85, para el modelo 1; y X4= US\$ 76.279,15, para el modelo 2) en el que las economías recuperan un tramo donde las emisiones GEI<sub>pc</sub> adquieren nuevamente unas tasas positivas (figura IV).

FIGURA IV: MODELO CÚBICO CKA EN FORMA DE N, RESULTADO DE LA ESTIMACIÓN DE LOS MODELOS 1 Y 2.

<sup>11</sup> Atendiendo a la bondad de los modelos, se observa que el modelo 2 tiene un mejor R-cuadrado corregido que el modelo 1, siendo sus valores 0.991902 y 0.992739 respectivamente.

<sup>12</sup> La estimación de los "turning points" para el modelo cúbico se ha realizado utilizando la siguiente expresión (Diao et al., 2008):  $X_j = \frac{-\beta_2 \pm \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}$ ,  $\forall j = 1, 2$ ; donde el X<sub>1</sub> representa el primer punto de quiebra y X<sub>2</sub> el segundo. A partir de éste último, el crecimiento económico volvería a producir un incremento de la degradación medioambiental.



En la figura IV se presenta la CKA de ambos modelos, con los correspondientes puntos de quiebra (X1 y X2, para el modelo 1 y X3 y X4 para el modelo 2). Si se comparan los puntos de quiebra, para el primer tramo de emisiones GEIpc ascendentes, el modelo 2 lo alcanza para unos requerimientos de renta superiores ( $X3 > X1$ ), lo que cabe interpretarse como que las medidas de I+D+i energético, en una temprana etapa del crecimiento económico, requieren un sobreesfuerzo en los niveles de renta necesarios para alcanzar la corrección medioambiental. Por otro lado, y debido a la forma de N que evidencia el modelo cúbico, cuando los sistemas económicos logran alcanzar, al final del tramo de emisiones descendentes, un nuevo nivel de renta (para los puntos de quiebra X2 y X4, en los modelos 1 y 2 respectivamente) éstos retomarían unos niveles de emisiones ascendentes, justificado por un *efecto escala* (Torras y Boyce, 1998), en el que las medidas de innovación energética habrían alcanzado una obsolescencia técnica, insuficientes para paliar la degradación medioambiental.

Ante este horizonte, el modelo 2 alcanza el retorno a un tramo de contaminación ascendente para un nivel de renta superior al que se produce para el modelo 1 ( $X_4 > X_2$ ), lo que vendría a indicar que la ejecución de medidas de innovación energética, en materia de I+D+i energético, permitirían alejar a los sistemas económicos de la obsolescencia técnica y, por tanto, del efecto escala.

Por último, si nos fijamos en los niveles de renta de los distintos países en 2010 (tabla IV), aún se encuentran algunos incluidos en un primer tramo de contaminación ascendente, mientras que ninguno de ellos habría recuperado unos niveles de contaminación ascendente, una vez alcanzado el segundo punto de quiebra.

TABLA IV: CLASIFICACIÓN DE PAÍSES DE ACUERDO CON NIVEL DE RENTA, A PARTIR DE LOS PUNTOS DE QUIEBRA DEL MODELO 2		
< US\$ 25.756,47	Entre US\$ 25.756,47 y US\$ 76.279,15	>US\$ 76.279,15
Turkey (US\$ 15.775,42) Hungary (US\$ 20.625,12) Czech Republic (US\$ 25.413,38) Portugal ( US\$ 25.621,68)	Greece (US\$27.539,14) Korea (US\$ 28.828,80) New Zealand (US\$ 29.316,82) Spain (US\$ 31.573,45) Italy (US\$ 32.340,58) Japan (US\$ 34.088,02) France (US\$ 35.413,59) United Kingdom (US\$ 35.827,11) Finland (US\$ 36.032,09) Germany (US\$ 37.680,13) Belgium (US\$ 37.834,02) Canada (US\$ 39.050,29) Sweden (US\$ 39.247,01) Austria (US\$ 40.410,97)	

	Denmark (US\$ 40.616,16)	
	Ireland ( US\$ 41.038,30)	
	Australia (US\$ 41.068,27)	
	Netherlands ( US\$ 41.673,19)	
	United States (US\$ 46.614,91)	
	Switzerland (US\$48.700,59)	
	Norway (US\$57.454,48)	

Fuente: Elaboración propia, a partir OCDE 2013

Del análisis de la tabla IV se desprende que la mayoría de países se encuentran entre el primer y segundo punto de quiebra, con unos niveles de emisiones GEIpc descendentes, de modo que las medidas de I+D+i energético resultan positivas a fin de salvar la obsolescencia técnica que les fuerce a retornar a un tramo en el que de nuevo se reduzca la calidad medioambiental. Por su parte, los países que aún no han alcanzado el tramo el nivel de renta necesario para alcanzar la reducción en los niveles de contaminación ( $X_3 = \text{US\$ } 25.756,47$ ) deben de centrar la atención, tal y como recomiendan Shafic y Bandyopadhyay, (1992) o Hettige et al., (2000) en los procesos de reestructuración hacia sectores menos contaminantes, ya que para estas economías actualmente el efecto escala no ejerce la presión sobre la obsolescencia técnica que experimentan los países que se encuentran en un tramo de contaminación descendente; aun a pesar que las medidas de innovación contienen un efecto positivo en la reducción de emisiones GEIpc.

## 6 CONCLUSIONES

El estudio realizado, a través de un modelo CKA, pone de manifiesto la influencia positiva que los procesos de innovación energética ejercen sobre la calidad medioambiental. A su vez, al incorporar al análisis el gasto público en I+D+i energético, como variable explicativa de la calidad medioambiental, los resultados obtenidos de la estimación realizada, arrojan evidencia empírica sobre el hecho de que dicho esfuerzo presupuestario, por parte de los gobiernos, contribuye

positivamente a la reducción de emisiones GEIpc. Además, con esta serie de medidas se consigue alejar el retorno a una contaminación ascendente, como consecuencia de retrasar la obsolescencia técnica, alejando a las economías de unos rendimientos tecnológicos decrecientes. Estos resultados, de naturaleza schumpeteriana, arrojan una clara evidencia sobre la necesidad, por parte de los reguladores, de potenciar las medidas de innovación energética que, de manera complementaria al crecimiento económico, van a permitir mejorar la calidad medioambiental.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghion, P. & Howitt, P. (1992): "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, n. 60(2), pp. 323-351
- Anderson, D., & Cavendish, W., (2001): "Dynamic simulation and environmental policy analysis: beyond comparative statistics and the environmental Kuznets curve", *Oxford Economic Papers* n. 53(4), pp. 721-746.
- Andreoni, J. & Levinson, A. (1998): "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve," *NBER Working Papers*, n. 6739.
- Bergh, J.C.J.M. Van Den & P. Nijkamp, (1994): "An Integrated Model for Economic Development and Natural Environment: An Application to the Greek Sporades Islands", *The Annals of Operations Research*, Vol. 54: 143-174
- Bovenberg, A.I., & Smulders, S. (1995): "Environmental quality and pollution-augmenting technological change in a two-sector endogenous growth model", *Journal of Public Economics*, n. 57, pp. 369-391.
- Bruvoll A., Faehn, T. & Strom, B. (2003) „Quantifying central hypotheses on Environmental Kuznets Curves for a rich economy“, *Scottish Journal of Political Economy*, n.50, ppp.149-173.
- Carrión-Flores, C. & Innes, R. (2010): "Environmental innovation and environmental performance." *Journal of Environmental Economics and Management*, n. 59(1), pp.27-42.
- De Bruyn, S.M., Van Den Bergh, J.C.J.M. & Opschoor, J.B. (1998), "Economic Growth and Emissions: Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves", *Ecological Economics*, n. 25, pp. 161-175.
- De Castro, L.M. (2009): "Crecimiento Económico y Medioambiente", *Economía y Medio Ambiente*, n. 847, pp. 93-110

- Deacon, R.T. & Norman, C.S. (2006): "Does the environmental Kuznets curve describe how individual countries behave?" *Land Economics*, Volume 82, pp. 291-315.
- Diao, X., Zeng, S., Tam, C. & Tam, V (2008): EKC analysis for studying economic growth and environmental quality: a case study in China. *Journal of Cleaner Production*, n.17(5), pp. 541-548.
- Dinda, S. (2004): "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: a survey", *Ecological Economics*, n. 49, v. 4, pp. 431-455.
- Dosi, G. (1988): "Sources, procedures and microeconomic effects of innovation", *Journal of Economic Literature*. Vol. XXVI (Sept.): pp. 1120-1171 .
- European Commission (2007): *Directive 2003/87/EC*
- Eurostat (2012): *Eurostat database*.  
[www.epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/.../search\\_database](http://www.epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/.../search_database)
- Fisher-Vandena, K. & Mun S. Hob (2010): Technology, development, and the environment", *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 59, Issue 1, January 2010, pp. 94-108
- Gradus, R.; & 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.
- Griliches, Z. (1992): 'The Search for R&D Spillovers', *Scandinavian Journal of Economics*, n. 94 (Supplement): pp. 29-47.
- Grossman, G.; & Krueger, E. (1995): "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, v. 110,n. 2, pp. 353-377.
- Grossman, G.; & Krueger, E. (1991): "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement," *NBER Working Paper*, n. 3914.
- Halkos, G. (2011) "Environment and economic development: determinants of an EKC hypothesis", *Journal of Applied Economic Sciences (JAES)* (2(16)/2011) pp. 148-159
- Hettige, H.; Mani, M. & Wheeler, D. (2000): "Industrial Pollution in Economic Development: Kuznets Revisited", *Banco Mundial, Grupo de investigaciones sobre el desarrollo, Documento de trabajo*, n. 1876.
- Heyes, A., & Kapur, S. (2011) "Regulatory Attitudes and Innovation in a Model Combining Internal and External R&D", *Journal of Environmental Economics & Management*, n. 61 (3). pp. 327-340.
- Jaffe, A., Newell, & Stavins, R. (2003): Technological change and the environment", *Handbook of Environmental Economics*. North-Holland.

- Johansson, P. & Kristrom, B. (2007) „On a Clear Day you Might see an Environmental Kuznets Curve“, *Environmental and Resource Economics*, n. 37, pp. 77
- López-Peña, Pérez-Arriaga. I.J. & Linares, P. (2012): "Renewables vs. energy efficiency: the cost of carbon emissions reduction in Spain", *Energy Policy*. vol. 50, pp. 659-668, November 2012.
- Markandya, A., Golub, A. & Pedrosa- Gallinato, A. (2006) „Empirical analysis of national income and SO2 emissions in selected European countries“, *Environmental and Resource Economics*, n. 35, pp. 221-257.
- Meadows, D.L., Meadows, D.H., Randers, J. & Behrens, W., (1972): *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Man*. Universe Books, New York.
- Mendiluce, M. (2007): “Cómo afectan los cambios estructurales a la intensidad energética en España”, *Ekonomiaz*, n. 65, pp. 362-385.
- Moomaw, W. & Unruh, G. (1997): “Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO2 emissions”, *Environment and Development Economics*, Vol. 2, pp. 451-463.
- Nelson, R. & Winter, S.G. (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press/Harvard University Press: Cambridge.
- Neumayer, E. (1998): ‘Is Economic Growth the Environment’s Best Friend?’, *Zeitschrift fu'r Umweltpolitik und Umweltrecht*, n.21(2), pp.161–176.
- OECD (2013): *IEA Energy Technology RD&D Statics*, <http://www.oecd.org/statics>
- Ordoñez, S. (2009): “Después de Hubbert. Los Combustibles Fósiles”, *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, vol. CXLV, pp. 9-48.
- 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
- Panayotou, T. (1997): “Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool”, *Environment and Development Economics*, n. 2, pp. 465-484.
- Pizer, W. A., & POPP, D. (2008): “Endogenizing technological change: Matching empirical evidence to modeling needs”. *Energy Economics*, n. 30, pp. 2754–2770.
- Romer, P.M. (1990): “Are Non convexities Important for Understanding Growth?. AEA Papers and Proceedings, v. 80, n. 2, pp. 97-103.
- Rothman, D.S. (1998): “Environmental Kuznets curves—real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches”, *Ecological Economics* n. 25, pp. 177-194.

- Ruiz, M.J. (2010): "Análisis del impacto de la I+D pública sobre la intensidad energética en la UE-15". *Clim. Economía*, n. 16, pp. 381-399
- Schumpeter, J.A. (1942): *Capitalismo, socialismo y democracia*; (Ed.1983), Orbis, Barcelona
- Selden, T.; & Song, D. (1994): "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, n. 27, v. 2, pp. 147-162.
- Shafik, N.; & Bandyopadhyay, N. (1992): "Economic Growth and Environmental Quality: Time-series and Cross-Country Evidence", *World Bank Working Papers*, n. 904, pp. 1-6. Washington D.C..
- Shi, A. (2003): "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions 1975-1996: evidence from pooled cross-country data", *Ecological Economics*, n. 44, pp.29-42.
- Smulders, S.; & De Nooj, M. (2003): "The Impact of energy conservation on technology and economic growth", *Resources and Energy Economics*, n. 25, pp. 59-79.
- Torras, M.; & Boyce, J. (1998): "Income, inequality, and pollution: a reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, n. 25, pp. 147-160
- Turner, K, & Hanley, N. (2011): "Energy efficiency, rebounds and the environmental Kuznets curve", *Energy Economics*, n. 33, pp.709-720
- UK Climate Change Committee (2008): *Building a low carbon economy: the UK's contribution to tackling climate change*. London: UK CCC.
- Unruh, G.C. & Moomaw, W.R. (1998): "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, n.25, pp. 221-229.
- Velthuisen, J.W., & Worrell, E. (2002): "The economics of energy". In:van den Bergh, J.C.J.M. (Ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 177-94.
- Vence, X. (1995):"Economía de la Innovación y del Cambio Tecnológico". Capítulo 7. Las teorías Evolucionistas de la Innovación. pp. 216 a 270. Siglo XXI. Madrid, 1995
- Wackernagel, M. \*, Onisto, L., Bello, P., Callejas, A. López, I., Méndez J., & Suárez A., Suárez, M.A. (1999): "National natural capital accounting with the ecological footprint concept" *Ecological Economics*, n. 29, pp. 375–390.
- World Bank (1992): "Development and the environmental", *Oxford University Press USA*. pp. 9-1

Yong, T., Lebre, E., Gaj, H., Shukla, P. & Zhou, D. (2000): "Structural changes in developing countries and their implications for energy-related CO2 emissions", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 63, pp.111-136.