

## EMISIONES DE CO<sub>2</sub> Y AZUFRE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ¿UNA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL?

DÍAZ-VÁZQUEZ, M. Rosario\*

CANCELO, M. Teresa (maite.cancelo@usc.es)

---

### Resumen

En este trabajo se analiza el papel desempeñado por factores exógenos al modelo de la curva de Kuznets ambiental (CKA) en aquellos casos en los que se detecta una transición en la relación emisiones-PIB (en términos per cápita). Para ello, comparamos los resultados de la estimación econométrica habitual del modelo CKA con el análisis de los efectos tiempo y con los resultados del análisis gráfico de la evolución de los indicadores por países para los dos contaminantes seleccionados: emisiones de CO<sub>2</sub> y de azufre. Se completa el estudio con los resultados de un análisis de descomposición de la tasa de crecimiento de las emisiones.

Palabras clave: Curva de Kuznets Ambiental, estimación econométrica, análisis gráfico.

Códigos JEL: Q56,

### Abstract:

This analysis focuses on determining the role of those factors that are exogenous to the environmental Kuznets curve (EKC) model in causing a weakening in the correlation between GDP per capita and emissions (CO<sub>2</sub> and sulphur). For this purpose, we compare the EKC model estimation, the time-effects analysis and the results of the graphic analysis. The results of a decomposition of the emissions growth rate are also included.

Key words: Environmental Kuznets Curve, Econometric estimation, graphical analysis.

JEL codes: Q56

---

---

\* María-Rosario Díaz-Vázquez (rosario.diaz@usc.es), and María-Teresa Cancelo, (maite.cancelo@usc.es), Faculty of Economics and Business Administration, University of Santiago de Compostela (Spain)

## 1.- Introducción

En la literatura económica existen varias posturas ante la relación entre medio ambiente y crecimiento económico. Mientras algunos autores establecen una relación positiva entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental, defendiendo así la necesidad de establecer un límite al crecimiento, otros autores propugnan el crecimiento económico como el único camino viable para la protección del medio natural.

La hipótesis que se ha denominado Curva de Kuznets Ambiental (CKA) se ha unido desde principios de los 90 a este debate. Esta hipótesis postula que la relación entre la renta *per cápita* y la degradación medioambiental podría representarse por una U invertida, de forma que el deterioro ambiental mantendría una relación creciente con la renta hasta alcanzar un nivel crítico de ingreso *per cápita* a partir del cual los incrementos de la renta irían acompañados de mejoras en la calidad medioambiental.

Aunque la hipótesis CKA no implica que la disociación entre el incremento de la renta *per cápita* y la degradación medioambiental, a partir de un determinado nivel de renta, sea una consecuencia directa del proceso de crecimiento económico (entendiendo por “directa”, sin la intermediación de políticas públicas intencionadas), algunos autores han pretendido llegar a tal conclusión. Han invocado la CKA para defender la existencia de una relación causal directa positiva entre crecimiento económico y calidad medioambiental, lo que, a su vez, les permite extraer claras implicaciones para la política económica y medioambiental: lo único importante es crear las condiciones competitivas necesarias para garantizar el crecimiento económico continuado ya que así se podrán lograr a la vez los objetivos económicos y los objetivos ecológicos. La política medioambiental sería innecesaria en este contexto y su aplicación podría suponer un freno al crecimiento económico en tanto que objetivo prioritario.

Pero debemos subrayar que tales conclusiones no pueden extraerse directamente de los estudios de la CKA. Esto es así porque la mayor parte de los estudios empíricos sobre dicha hipótesis se centran en estimar modelos econométricos en forma reducida, la cual recoge tanto la relación directa que existe entre la renta y el indicador medioambiental como la indirecta. Consecuentemente, no permiten discernir si existe una relación directa automática entre calidad medioambiental y crecimiento económico o si la conexión entre ellos es indirecta a través, por ejemplo, de la aplicación de políticas ambientales más estrictas cuando los niveles de renta son más elevados. La forma general de la ecuación estimada es la siguiente (Ekins, 1997):

$$f(E_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 g_1(Y_{it}) + \alpha_2 g_2(Y_{it}^2) + \alpha_3 g_3(Y_{it}^3) + \alpha_4 g_4(Y_{it-a}^n) + \beta \cdot B + \gamma t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

donde  $E_{it}$  es un indicador medioambiental para el país  $i$  en el momento  $t$ ;  $\alpha, \beta, \gamma$  son los parámetros que deben ser estimados;  $Y_{it}$  es la renta per cápita del país  $i$  en el momento  $t$ , siendo  $Y_{it-a}^n$  un polinomio de la renta retardada;  $B$  es un vector de otras variables explicativas que posiblemente incluya variables ficticias para capturar la influencia específica de la demografía, la geografía o años concretos;  $\varepsilon$  es la perturbación aleatoria; y  $f(\cdot)$  y  $g(\cdot)$  son las formas funcionales que son predominantemente, pero no exclusivamente, logarítmicas o lineales.

Si esa relación puede representarse por una curva en forma de U invertida, el segundo paso es calcular el “punto crítico” (*turning point*, en adelante PC), es decir, el nivel de renta per cápita en el que la curva alcanza su máximo (y donde un cambio marginal en el indicador medioambiental es cero).

Cabe puntualizar que no se puede concluir que se cumple la hipótesis CKA cada vez que se observa una trayectoria de

disminución de algún contaminante cuando el PIB sigue creciendo. Se pueden esgrimir, al menos, dos razones.

En primer lugar, porque, como precisa Vogel (1999, p.26), para que pueda hablarse de una evolución CKA como un fenómeno real y robusto, las mejoras medioambientales que se producen con un ingreso per cápita creciente “deben incluir un componente sistemático que esté asociado a características típicas de una economía creciente y en desarrollo”. Por tanto, si la causa que provoca la senda de mejora medioambiental es un shock exógeno al proceso de crecimiento y desarrollo, no debe considerarse una CKA, aunque las mejoras medioambientales se produzcan cuando se está incrementado el ingreso per cápita.

En segundo lugar, el que la disociación se produzca para determinados contaminantes no implica que se esté produciendo una mejora general en el medio ambiente, ya que otros indicadores pueden estar empeorando.

A tenor de lo expuesto se deduce que, para poder obtener conclusiones sólidas que respalden el diseño de políticas, es necesario investigar las causas que pueden provocar una senda descendente en los indicadores de deterioro medioambiental en un contexto de crecimiento y desarrollo económicos, y es esa la dirección hacia la que se orienta nuestro trabajo.

## **2.- Objetivo y estructura del trabajo**

El objetivo del trabajo que presentamos es profundizar en el estudio de los factores que han favorecido una transición en la relación emisiones-PIB (en términos per cápita), entendiendo por transición el hecho de que dichas variables pasen de tener una fuerte correlación positiva a estar negativa o débilmente correlacionadas.

Para ello, analizamos y relacionamos los resultados obtenidos en Díaz-Vázquez (2009), en Cancelo (2010) y en Díaz-Vázquez y Cancelo (2008). Los trabajos mencionados se centran en el estudio de la relación existente entre el PIB per cápita y las emisiones tanto

de CO<sub>2</sub> como de azufre, aunque abordan el análisis utilizando diferentes técnicas que aportan resultados complementarios.

En el epígrafe 3, revisamos las técnicas utilizadas en dichos trabajos y mostramos su complementariedad. En el epígrafe 4, analizamos los resultados obtenidos en ellos y, por último, recogemos las principales conclusiones.

Antes de proceder, es conveniente puntualizar que el interés de los dos contaminantes analizados puede explicarse por, al menos, tres razones:

- Primera, está el hecho de que se trata de los dos contaminantes para los que se dispone de series más largas y completas de datos, lo cual es importante para poder obtener el mayor tramo posible de la curva,
- Segunda, porque, a pesar de tener un origen común (la combustión de combustibles fósiles), los problemas medioambientales que generan y su tratamiento son sustancialmente diferentes (el cambio climático en el caso del CO<sub>2</sub> y la acidificación en el caso del azufre), y,
- Tercera, porque en algunos países, especialmente OCDE, se han observado trayectorias decrecientes en las emisiones de estos contaminantes en contextos de crecimiento del PIB.

### **3.- Revisión de las técnicas utilizadas**

En Díaz-Vázquez (2009), basándose en el trabajo de Stern y Common (2001), se estructura el estudio en dos pasos:

- En primer lugar, se realiza la estimación econométrica del modelo CKA tanto en su especificación estándar como en primeras diferencias.
- En segundo lugar, se analizan los efectos tiempo obtenidos de la estimación anterior.

El objetivo de dicho trabajo es estimar qué tipo de variables han sido más determinantes para compensar el efecto escala: si aquellas relacionadas con la evolución del PIB per cápita o aquellas exógenas

a la hipótesis CKA. Se define aquí el efecto escala como el incremento en las emisiones debido a un incremento en la actividad económica, *ceteris paribus*.

Comienza estimándose el modelo CKA estándar en su especificación cuadrática en logaritmos con efectos fijos de país y de tiempo:

$$\ln\left(\frac{E}{POB}\right)_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 \ln\left(\frac{PIB}{POB}\right)_{it} + \beta_2 \left(\ln\left(\frac{PIB}{POB}\right)_{it}\right)^2 + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

donde  $E$  son las emisiones del contaminante,  $POB$  es la población,  $\varepsilon$  es la perturbación aleatoria, los  $\alpha_i$  son las ordenadas en el origen específicas de país, los  $\gamma_t$  son las ordenadas en el origen específicas de tiempo, el subíndice  $i$  se utiliza para países y el subíndice  $t$  para años.

Ahora bien, muchas de las críticas que se han realizado a los estudios empíricos sobre la CKA se dirigen precisamente al hecho de que se basan en la estimación de un modelo en forma reducida para un panel de países, de forma que es bastante probable que dicho modelo esté mal especificado ya que intenta imponer CKAs isomorfas y con un PC común a todos los países del panel. Stern y Common (2001, p.162) destacan que, al centrarse la atención en una variable específica para explicar la evolución de un indicador de deterioro medioambiental, existe el riesgo potencial del sesgo por variables omitidas. Como recuerda Stern (2004), dichos autores prestan atención a tres cuestiones que podrían estar evidenciando la existencia del problema citado, que son:

- Las diferencias entre los coeficientes estimados en las diferentes submuestras.
- Las diferencias entre los parámetros de los modelos con efectos fijos y los modelos con efectos aleatorios.
- La elevada autocorrelación detectada a pesar de haber eliminado los efectos tiempo comunes, lo que sugeriría que: “hay variables con una elevada correlación serial que

difieren entre países que están omitidas del modelo EKC básico” (Stern y Common, 2001, p.172).

Estos autores, ante la posible existencia de variables omitidas integradas en el modelo CKA estándar, proponen estimarlo en primeras diferencias ya que, si hay variables con tales características, el estimador en primeras diferencias sería consistente. Estiman el modelo en primeras diferencias con dos variantes: en la primera, utilizan una ordenada en el origen constante que representaría la tasa media de progreso técnico; en la segunda, introducen efectos fijos de tiempo que les permiten capturar otros efectos comunes relacionados con el tiempo además del cambio tecnológico (en sentido neoclásico). Esta segunda variante es la seleccionada por Díaz-Vázquez (2009) por su interés en el análisis de los efectos tiempo:

$$\Delta \ln \left( \frac{E}{POB} \right)_{it} = \gamma_t + \beta_1 \Delta \ln \left( \frac{PIB}{POB} \right)_{it} + \beta_2 \Delta \left( \ln \left( \frac{PIB}{POB} \right)_{it} \right)^2 + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Stern y Common estiman los modelos de las ecuaciones 2 y 3 para el azufre, en el periodo 1950-90, para tres muestras: la muestra “mundo” y las sub-muestras “OCDE” y “no OCDE”. Díaz-Vázquez (2009) presenta la estimación de ambos modelos en las tres muestras (aunque no coinciden exactamente con las anteriores) tanto para el azufre como para las emisiones de CO<sub>2</sub>, ampliando el periodo de análisis hasta 1999.

Aún así, Díaz-Vázquez recuerda la conclusión a la que llegan Stern y Common (2001, p.175): “Nuestros resultados muestran que, para el caso del azufre, un único modelo global está mal especificado.(...) La estimación del modelo en primeras diferencias da como resultado estimaciones más fiables, pero es un modelo incompleto del cambio en las emisiones y nuestra estimación de efectos fijos muestra que, de nuevo, un modelo global único es una mala especificación”.

Como consecuencia, se recomienda interpretar con cautela los resultados obtenidos en la estimación econométrica y complementarlos con otros tipos de análisis. En este sentido, ya Stern *et al* (1996, p.1159) en una revisión crítica de la literatura sobre la CKA sugerían que “un enfoque más fructífero para el análisis de la relación entre crecimiento económico y el impacto medioambiental sería el examen de la experiencia histórica de países individuales, utilizando análisis econométricos y análisis históricos cualitativos”. Desde una perspectiva similar, Harbaugh *et al* (2002), ante la fragilidad de los resultados de los estudios CKA, proponen como línea de trabajo: “Más que tratar de ajustar una relación renta-contaminación universal en la forma reducida, sería útil conocer qué rasgos comunes comparten los contaminantes y países donde las emisiones están decreciendo y la renta está aumentando” (p.549). De esta forma podrán mejorarse las explicaciones teóricas y su contrastación, y permitirá a los analistas extraer implicaciones políticas más convincentes.

Precisamente por la necesidad de disponer de una información más detallada que la aportada por los estudios globales que estiman la CKA en forma reducida, se han abierto dos líneas de trabajo que complementan a la anterior: el estudio de la relación CKA por países y los análisis de descomposición.

Siguiendo la primera de estas líneas de trabajo, consideramos relevante en este punto un estudio basado en el análisis de lo sucedido en cada uno de los países como el que ofrece Canelo (2010), apoyándose en Moomaw y Unruh (1997), a partir de los gráficos recogidos en Díaz-Vázquez y Canelo (2008b).

Dicho análisis se basa en el estudio de la curva trazada si ubicamos el PIB per cápita en el eje de abscisas y el indicador medioambiental, también en términos per cápita, en el eje de ordenadas. Mientras Moomaw y Unruh estudian sólo las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 1950-1992, Canelo estudia también lo sucedido en la relación azufre-PIB y amplía el periodo muestral hasta 1999.

El objetivo es doble: por una parte, identificar aquellos factores que han podido actuar como desencadenantes del proceso de transición que se observa en algunos países en la relación emisiones-PIB (per cápita) y, por otra parte, buscar rasgos comunes tanto entre contaminantes como entre países donde se ha producido la transición.

En relación con la segunda línea de trabajo propuesta para complementar los estudios econométricos sobre la CKA, recogemos el análisis de descomposición realizado por Díaz-Vázquez y Canelo (2008). En este estudio se aplica una técnica de descomposición sencilla, la cual descompone la tasa de crecimiento de las emisiones considerando la actividad económica agregada, esto es, sin incorporar datos relativos al comportamiento de los diferentes sectores ni información específica sobre la combinación de combustibles utilizada en cada sector. La ecuación para el CO<sub>2</sub> es la siguiente (Proops *et al*, 1993):

$$\frac{\Delta C}{C} \approx \frac{\Delta(C/E)}{(C/E)} + \frac{\Delta(E/Y)}{(E/Y)} + \frac{\Delta Y}{Y} \quad (4)$$

donde:  $C$  son las emisiones de CO<sub>2</sub>,  $E$  es el consumo de energía de la economía;  $Y$  es el PIB de la economía. La ecuación para el azufre es idéntica, sustituyendo únicamente  $C$  por  $S$  (emisiones de azufre).

La ecuación 4 es el resultado de una aproximación discreta de forma que el resultado de ambos miembros no va a coincidir y siempre quedará un resto.

El objetivo de este trabajo es la búsqueda de las explicaciones de primer nivel (efecto escala, efecto composición y efecto técnico) que comparten los países que han experimentado transiciones en sus trayectorias emisiones-PIB con el fin de estudiar qué actuaciones han resultado más eficaces en la ruptura de la relación creciente entre ambas variables.

Procedemos a comentar y relacionar los resultados obtenidos en los trabajos citados.

#### **4.- Análisis de resultados.**

##### **4.1.- Resultados de la estimación econométrica del modelo CKA**

En Díaz-Vázquez (2009), el modelo de la ecuación 3 se estima por mínimos cuadrados generalizados (con ponderaciones *cross-section*) para las tres muestras consideradas (OCDE94, no-OCDE y mundo) y para los contaminantes propuestos (emisiones de CO<sub>2</sub> y de azufre). En los resultados de la estimación, se observa que el término cuadrático del PIB per cápita en primeras diferencias es negativo y significativo en todos los casos excepto en el de la muestra no-OCDE para el CO<sub>2</sub>, en el que no es significativo. Ahora bien, todos los PC estimados son muy elevados y, en consecuencia, quedan claramente fuera del rango de renta per cápita considerado (al igual que sucedía con los estimados por Stern y Common para el azufre), por lo que todas las curvas estimadas son monótonas crecientes en ese rango.

Con el fin de interpretar los resultados, cabe recordar que, según Suri y Chapman (1998, p.199), la variable PIB representa el efecto escala de la actividad económica sobre las emisiones y que el PIB al cuadrado estaría recogiendo todos los factores que estarían variando en la economía a medida que el PIB crece (por ejemplo, el efecto composición, la concienciación medioambiental o las regulaciones). Teniendo esto en cuenta podríamos decir, según los resultados obtenidos en la estimación del modelo 3, que aunque los factores que varían con el crecimiento del PIB pudieran estar ejerciendo una presión a la baja sobre las emisiones, como indicaría el signo negativo del coeficiente estimado del término cuadrático del PIB, este impulso habría sido insuficiente para compensar el efecto escala y poder así cambiar la tendencia creciente de las emisiones en el rango de renta considerado.

Díaz-Vázquez resalta la paradoja de que, tanto en los resultados de su estimación para el azufre como en los de Stern y Common, el PC estimado para la muestra OCDE94 sea muy superior al de la muestra no-OCDE cuando es un hecho que las emisiones de azufre comenzaron a disminuir antes, y lo han hecho más, precisamente en los países OCDE. Por la misma razón, también sorprende que el PC estimado para el azufre en los países OCDE94 sea muy superior al obtenido con la misma muestra para el CO<sub>2</sub>. Por ello, esta autora busca una posible explicación en factores no relacionados con el incremento de la renta per cápita valiéndose del análisis de los efectos tiempo.

*Análisis de los efectos tiempo resultantes de la estimación CKA.*

En Díaz-Vázquez (2009) se estudia la evolución de los efectos tiempo que resultan de la estimación del modelo de la ecuación 3. Los efectos tiempo recogen tanto variables omitidas que varían con el tiempo como *shocks* estocásticos comunes a todos los países.

De este análisis se obtienen las siguientes conclusiones en el caso del CO<sub>2</sub>:

- Los efectos tiempo del CO<sub>2</sub> para los países OCDE94 son inferiores a los de los no-OCDE
- En la muestra no-OCDE, los efectos tiempo son siempre positivos. Siguen una tendencia fuertemente creciente que se trunca en 1979 y, después de una ligera disminución, vuelven suavemente a crecer.
- En la muestra OCDE94, estos efectos siguen una tendencia creciente hasta 1973, fecha en la que comienza el tramo decreciente. Aún así, la reducción más acusada es la que se produce a partir de 1979, tornándose negativos a partir de 1980.

Por lo tanto, dado que los años 1973 y 1979 son las fechas en las que comienzan las dos crisis petrolíferas, los efectos tiempo

estimados estarían reflejando el impacto de dichas crisis en la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el caso del azufre, también los efectos tiempo estimados son mayores en los países no-OCDE que en los países OCDE94. Otros resultados son los siguientes:

- Los efectos tiempo obtenidos para los países no-OCDE son positivos durante todo el periodo, con tendencia ligeramente creciente hasta 1979 y comienzan una senda descendente a partir de 1985.
- Para la muestra OCDE, estos efectos estimados son negativos durante todo el periodo, con curva marcadamente descendente y pendiente que se agudiza a partir de 1979.

Por tanto, en el caso de las emisiones de azufre, el cambio en el progreso técnico hacia una reducción de las emisiones en los países no-OCDE se produciría, según estos resultados, a mediados de los ochenta y no de los setenta como concluían Stern y Common. Consecuentemente, el progreso técnico habría afectado antes a las emisiones en los países OCDE, por lo que podría pensarse en una posterior difusión tecnológica a los países no OCDE.

Aún así, ha de tenerse en cuenta que, como ya se ha comentado, un modelo global único en forma reducida, aunque sea en primeras diferencias, sigue siendo una especificación deficiente. Es por ello que los resultados obtenidos deben interpretarse con cautela y completarse con los extraídos del análisis gráfico.

#### **4.2.- Resultados del análisis gráfico.**

En Canelo (2009), se seleccionan aquellos países en los que la trayectoria CO<sub>2</sub>-PIB, en términos per cápita, sufre una transición (en adelante, países Tipo 1, siguiendo la clasificación de Moomaw y Unruh). Como ya se ha indicado, se entiende por transición el hecho de que la relación entre ambas variables cambie de una fuerte correlación positiva a una correlación negativa o débil.

Ahora bien, mientras que en el trabajo de Moomaw y Unruh todos los países Tipo 1 pertenecían al ámbito de la OCDE 94, la ampliación del periodo muestral permite a Canelo diferenciar dos subgrupos dentro de los países Tipo 1: países Tipo 1 que pertenecen a la OCDE94 (en adelante, Tipo 1-OCDE) y países Tipo 1 de Europa del Este (en adelante, Tipo 1-EE). Esta distinción se realiza debido a que los procesos de transición experimentados por los países de cada grupo tienen características diferentes.

Así, los países clasificados como Tipo 1-OCDE (Alemania, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Holanda, Noruega, Reino Unido, Suecia y Suiza) tienen en común el hecho de que la relación  $\text{CO}_2$ -PIB ha sufrido una transición discontinua a raíz de las crisis petrolíferas de los setenta, coincidiendo con lo observado por Moomaw y Unruh. La pendiente marcadamente positiva que exhibe la curva  $\text{CO}_2$ -PIB se ve truncada al llegar los *shocks* petrolíferos, tendiendo después a aplanarse (en la mayoría coincidiendo con la recesión económica) e incluso, en algunos casos, a presentar una pendiente negativa. Estos países alcanzan sus emisiones per cápita máximas del periodo entre los años 1970 y 1980, de forma que, a pesar de que el PIB per cápita siguió creciendo durante el resto del periodo, las emisiones per cápita no volvieron a situarse en los niveles de esa década.

Únicamente Dinamarca y Finlandia llegan a sus emisiones per cápita máximas en 1996, aunque en el primero la ruptura de la relación creciente entre emisiones y PIB per cápita se produjo ya a partir de 1970 y en el segundo a partir 1980.

También se confirma que la forma de la curva en algunos países Tipo 1-OCDE se asemeja más a una V que a una U invertida, lo que indica que es posible una disminución rápida y acusada de las emisiones. Los casos más evidentes son los de Bélgica, Francia y Suecia, y puede estar explicada por el hecho de que fueron los países que le dieron mayor peso a la energía nuclear, lo que aleja la idea de que el cambio en la trayectoria pudiera obedecer a una mayor concienciación ecológica.

Los países que se han seleccionado como tipo 1-EE son: Polonia, Checoslovaquia y Hungría, países que han experimentado también transiciones en la relación CO<sub>2</sub>-PIB, aunque con características diferentes a las de los países Tipo 1-OCDE.

En Checoslovaquia y Hungría la crisis del petróleo, especialmente el segundo *shock* petrolífero, también desencadenó una transición en la relación CO<sub>2</sub>-PIB, ya que alcanzan sus niveles de emisiones per cápita máximas del periodo en 1978 y 1979, respectivamente, y, desde esas fechas hasta 1989, las emisiones per cápita se estabilizan o declinan mientras que el PIB per cápita mantiene una tendencia creciente. Esta “primera” transición no se observa en el caso de Polonia ya que en este país las emisiones van muy vinculadas a la evolución del PIB durante esta etapa, esto es, disminuyen con el PIB per cápita tras la crisis del petróleo y se recuperan posteriormente con la producción.

Ahora bien, en los países Tipo 1-EE, al efecto de la crisis del petróleo hay que sumar el efecto posterior de la fuerte contracción de la actividad económica padecida por los países de Europa del Este entre 1989 y 1993. En este segundo choque, las emisiones sí disminuyen inicialmente con el PIB per cápita pero el resultado de sumar los dos efectos ha sido que cuando la producción per cápita ha comenzado a recuperarse lo ha hecho con niveles de emisiones muy inferiores a los de las dos décadas precedentes y, además, la curva que recoge la relación CO<sub>2</sub>-PIB no ha recobrado la pendiente positiva. Por lo tanto, cabe considerar esta fase de contracción económica y de reestructuración como una “segunda” transición en la relación CO<sub>2</sub>-PIB en los países Tipo 1-EE.

En el trabajo también se incorpora el análisis de la curva azufre-PIB, en términos per cápita, agrupando los países según la clasificación realizada en función de la evolución de la curva CO<sub>2</sub>-PIB.

Como cabía esperar, dados los efectos más locales de las emisiones de azufre, se observa que las reducciones de este tipo de emisiones han sido mucho más acusadas y se producen en más países que las de las emisiones de carbono. A ello hay que agregar que no existe un determinado nivel de PIB per cápita que marque el inicio de un proceso de transición en la relación azufre-PIB, al igual que ocurría con la trayectoria CO<sub>2</sub>-PIB.

No puede afirmarse en todos los casos que las transiciones en la relación azufre-PIB estén vinculadas con los sucesos históricos detectados en el caso del carbono (crisis del petróleo, caída del muro de Berlín) y, por el contrario, se produce una influencia más significativa de características o decisiones específicas de cada país (lo que se deduce de la existencia de mayor heterogeneidad de las situaciones observadas).

Aún así, en la mayoría de los países Tipo 1, las fechas de las crisis petrolíferas marcan un cambio en la trayectoria azufre-PIB y, concretamente, es a partir de 1979 cuando se intensifica el proceso de reducción de emisiones, aunque no se puede deducir que hayan sido las crisis energéticas la principal fuerza motriz del cambio en dicha trayectoria ya que debe tenerse en cuenta el efecto que, en el caso del azufre, pudo haber ejercido la firma de la Convención de 1979 sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (conocida por sus siglas en inglés como CLRTAP) y los compromisos de reducciones obligatorias adoptados en 1985 en el Protocolo de Helsinki, firmado por todos los países Tipo 1 (con las excepciones de Estados Unidos, el Reino Unido y Polonia).

Por otra parte, al igual que sucedía en la relación CO<sub>2</sub>-PIB, la trayectoria azufre-PIB en los países Tipo 1-EE se ve afectada por los cambios económicos sufridos tras la caída del muro de Berlín, de forma que la recuperación económica posterior a esa crisis no supone de nuevo un incremento de las emisiones sino que, por el contrario, las emisiones se instalan en una senda descendente.

Por último, algunos países que no se seleccionaron como Tipo 1 a causa de una relación CO<sub>2</sub>-PIB creciente, sí disfrutaron de una etapa en la que la curva azufre-PIB exhibe una tendencia decreciente: Japón (desde 1970), Israel (desde 1973), Italia (desde 1974), Irlanda (desde 1979), España (desde 1980), Egipto (desde 1982), Taiwán (desde 1989), Corea del Sur (desde 1990), Grecia (desde 1992) y Hong Kong (desde 1993).

### 4.3.- Resultados del análisis de descomposición.

De los dos trabajos anteriores se concluye que ciertos acontecimientos (crisis petrolíferas, caída del muro de Berlín, CLRTAP) han actuado como desencadenantes de la transición emisiones-PIB en algunos países. Cabe ahora preguntarse qué tipo de actuaciones han sido las que han permitido que el efecto de esos *shocks* se haya mantenido en el tiempo. Un paso en este sentido es el trabajo llevado a cabo por Díaz-Vázquez y Cancelo (2008).

En este trabajo se descompone la tasa de crecimiento tanto de las emisiones de azufre como de las emisiones de CO<sub>2</sub> de países OCDE, ya que la mayor parte de los países Tipo 1 corresponden a dicha organización. El periodo considerado es 1973-1999 pues, a tenor de lo ya expuesto, podrían considerarse las crisis petrolíferas como fechas clave en el comienzo de la transición. Este análisis no se realiza en términos per cápita.

Para interpretar los resultados obtenidos con la ecuación 4, debe tenerse en cuenta que la variación en  $Y$  recoge el aumento en las emisiones generado por un aumento en la producción, *ceteris paribus*. Dicho efecto puede ser compensado por el decremento de las restantes tasas de crecimiento:

- La variación en los cocientes  $C/E$  y  $S/E$  indica un cambio en el volumen de emisiones por unidad de energía consumida, lo que puede producirse bien porque se ha modificado la combinación de combustibles utilizados bien porque se han

empleado tecnologías que reducen las emisiones al final del proceso, o por ambas (parte del efecto técnico).

- La variación en el cociente  $E/Y$  refleja que, dada la misma actividad productiva en términos agregados, está variando el consumo de energía asociado a ella. Las causas de esta variación pueden residir bien en un cambio hacia una composición de la producción con diferentes requerimientos energéticos (efecto composición) bien en el uso de tecnologías más eficientes energéticamente (esto recoge el resto del efecto técnico), o en ambas.

De las conclusiones de dicho trabajo, cabe destacar las siguientes:

- Con relación a las emisiones de  $\text{CO}_2$ , se observa que los países con menores tasas de crecimiento de dichas emisiones (Tipo 1 más Italia y Japón) se caracterizan, a diferencia del resto, por un crecimiento económico moderado y decrementos en las dos ratios,  $C/E$  y  $E/Y$ . En estos países ha disminuido, en promedio, algo más el cociente  $E/Y$  que el  $C/E$ . Ahora bien, si se centra la atención en aquellos países en los que efectivamente han caído las emisiones de  $\text{CO}_2$  en el periodo considerado, se observa que se caracterizan en general por ser los que han experimentado un crecimiento económico menor y una reducción mayor del cociente  $C/E$  que, en algunos casos, se suma a una contracción también importante del cociente  $E/Y$  y, en otros, como Suecia y Francia, es el componente fundamental de la reducción de las emisiones.
- Respecto a las emisiones de azufre, los países en los que disminuyen (Tipo 1 más Italia, Japón e Irlanda) se caracterizan también, en general, por crecimientos económicos moderados (excepto Irlanda) y por decrementos en las dos ratios,  $E/Y$  y  $S/E$ . Especialmente destacables en estos países son las disminuciones de la ratio  $S/E$ , muy superiores a las del resto. En general, este cociente es el factor más determinante en la caída de las emisiones de azufre.

## 5. Conclusiones.

El objetivo de este trabajo ha sido el estudio, a partir de resultados previos obtenidos con diferentes metodologías, de aquellos casos concretos en los que la relación emisiones-PIB per cápita ha experimentado una transición (o, lo que es lo mismo, la correlación emisiones-PIB se ha debilitado), con el fin de comprobar si obedecen o no a la hipótesis CKA, esto es, si las actuaciones que han podido desencadenar la disociación de las dos variables están *sistemáticamente* ligadas a una economía creciente y en desarrollo.

Del análisis econométrico se deduce que la senda descendente de las emisiones que se observa en algunas muestras y países no puede ser explicada por factores asociados al ingreso per cápita sino que la explicación residiría en los efectos tiempo. Estos efectos recogen variables omitidas al modelo que varían con el tiempo o *shocks* estocásticos comunes a todos los países.

En este sentido, el análisis gráfico confirma que los acontecimientos desencadenantes de la transición emisiones-PIB per cápita parecen estar asociados más a determinados eventos históricos que al hecho de haber alcanzado un determinado nivel de desarrollo.

En concreto, los acontecimientos que habrían actuado como “detonantes” de la transición CO<sub>2</sub>-PIB (crisis petrolíferas de los setenta y transición hacia el mercado en los países de Europa del Este) no están sistemáticamente asociados a una economía en crecimiento y ni siquiera responden a motivaciones medioambientales.

En cuanto al azufre, los resultados son más ambiguos, ya que no todos los países comienzan a la vez la transición, por lo que resulta más complejo detectar un evento común concreto que explique el comienzo de la disociación y el papel que puede haber desempeñado en ello el nivel de renta. Aun así, podría localizarse en el año 1979 el comienzo de la fase en la que se van a producir las caídas más continuadas de las emisiones en muchos países OCDE94. En esta fecha coinciden dos acontecimientos con posible impacto en la evolución de las emisiones de azufre: la segunda crisis del petróleo y la firma de la CLRTAP. Ahora bien, dada la mayor heterogeneidad

de las situaciones en este caso, resulta necesario considerar otros factores que estén también incidiendo en el resultado (por ejemplo, el daño percibido, la disponibilidad de tecnologías reductoras o la presión ejercida por organizaciones supranacionales).

Respecto a las actuaciones que han resultado más determinantes en el logro de un decremento duradero de las emisiones, del análisis de descomposición se concluye la importancia de la disminución de los cocientes emisiones/energía, tanto de azufre como de carbono. Como se ha señalado, la reducción de este cociente puede explicarse bien porque se ha modificado la combinación de combustibles utilizada bien porque se han utilizado tecnologías que reducen las emisiones al final del proceso o por ambas. Debe tenerse en cuenta que dichas tecnologías de final de proceso no eran asequibles para el carbono en el periodo considerado por lo que las disminuciones en el cociente  $C/E$  responderían, fundamentalmente, a una variación en la combinación de combustibles. Por el contrario, es muy probable que la reducción del cociente  $S/E$  responda en su mayor parte a la aplicación de tecnologías reductoras de las emisiones.

Ahora bien, de lo anterior no puede deducirse que la reducción en el cociente emisiones/energía sea suficiente para garantizar la disminución de las emisiones, sino que debe combinarse con una caída del cociente energía/PIB en un contexto de crecimiento económico moderado.

### **Bibliografía.**

Cancelo, M.T. (2010): "The relationship between CO<sub>2</sub> and sulphur emissions and income: an alternative explanation to the environmental Kuznets curve hypothesis". *Applied Econometrics and International Development*. (aceptado). Vol. 10-1.<sup>1</sup>

Díaz-Vázquez, M.R y Cancelo, M.T. (2008): "Desarrollo sostenible y medio ambiente: descomposición de las tasas de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y azufre 1973-1999 en los países de la OCDE", *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*, Vol. 8-1.<sup>1</sup>

Díaz-Vázquez, M.R y Cancelo, M.T. (2008b): *Relación entre el PIB per capita y las emisiones de CO<sub>2</sub> y azufre: análisis gráfico para el período 1950-99*. Working Papers Series Economic Development, 99.<sup>2</sup>

Díaz-Vázquez, M. R. (2009): “The dissociation between emissions and economic growth: the role of shocks exogenous to the environmental Kuznets curve model”. *Applied Econometrics and International Development*. Vol. 9-2.<sup>1</sup>

Ekins, P. (1997): “The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence”, *Environment and Planning A*, 29, 805-830.

Harbaugh, W.T.; Levinson, A. y Wilson, D.M. (2002): “Reexamining the empirical evidence for an Environmental Kuznets Curve”, *The Review of Economics and Statistics*, 84(3), pp. 541-551.

Moomaw, W.R. y Unruh, G.C. (1997): “Are Environmental Kuznets Curve misleading us? The case of CO<sub>2</sub> emissions”, *Environment and Development Economics*, 2, 451-463.

Proops, J.L.R.; Faber, M. y Wagenhals, G. (1993): *Reducing CO<sub>2</sub> emissions. A comparative Input-Output study for Germany and the UK*. Springer-Verlag, Berlin

Stern, D.I.; Common, M.S. y Barbier, E.B. (1996): “Economic growth and environmental degradation: The Environmental Kuznets Curve and sustainable development”, *World Development*, 24(7), pp. 1151-1160.

Stern, D.I. y Common, M.S. (2001): “Is there an Environmental Kuznets Curve for sulfur?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 41, 162-178.

Stern, D.I. (2004): “The rise and fall of the Environmental Kuznets Curve”, *World Development*, 32 (8), pp. 1419-1439.

Suri, V. y Chapman, D. (1998): “Economic growth, trade and energy: implications for the Environmental Kuznets Curve”, *Ecological Economics*, 25, 195-208.

Vogel, M.P. (1999): *Environmental Kuznets Curves. A study on the economic theory and political economy of environmental quality improvements in the course of economic growth*, Springer, Berlin.

<sup>1</sup> Free available at: <http://www.usc.es/economet/eea.htm>

<sup>2</sup> Free available at: <http://ideas.repec.org/s/eea/ecodev.html>