

La discutible curva de Kuznets

Fander Falconí^{a,*}, Rafael Burbano^{b,1} y Pedro Cango^{c,2}

^a Profesor investigador de Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Calle La Pradera E7-174 y Av. Diego de Almagro, Quito, Ecuador.

^b Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador

^c Investigador de Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Calle La Pradera E7-174 y Av. Diego de Almagro, Quito, Ecuador.

* Autor para correspondencia: ffalconi@flacso.edu.ec

Resumen

La curva ambiental de Kuznets (CAK) examina la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental. Esta hipótesis asume que en el corto plazo el desarrollo económico empeora el medio ambiente; pero en el largo plazo, a partir de un cierto nivel de ingresos, el crecimiento económico provoca menores niveles de contaminación. La curva ambiental de Kuznets asume la forma de una U invertida.

Bajo este supuesto, de manera coherente con la evidencia empírica, el presente estudio demuestra que solo en ciertos países desarrollados se verifica la hipótesis de una curva ambiental de Kuznets entre el ingreso per cápita y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita. Sin embargo, dado que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero que provoca el cambio climático global, esta investigación examina la relación entre las emisiones globales de CO₂ y el ingreso per cápita. Con este objetivo, utilizamos una regresión por tramos. Los resultados muestran que a partir de un ingreso per cápita de \$22.258 (US\$ 2005) las emisiones de CO₂ se estabilizan (no aumentan ni disminuyen). Es decir, no se cumple la curva ambiental de Kuznets, se cumpliría una forma débil de la CAK. El artículo analiza además las implicaciones de este hecho para el ambiente.

Palabras claves: eficiencia energética, divergencia, brechas de conocimiento, curva ambiental de Kuznets.

1. Introducción

En gran parte, los efectos adversos sobre el medio ambiente se deben a actividades económicas como la producción agrícola e industrial, y el consumo de energía. Esta fuente de contaminación está profundamente relacionada con el crecimiento económico y con la alta densidad poblacional. Cuando el ingreso per cápita aumenta, mayor es el nivel de consumo de materias primas y de energía, y con el aumento de la población se generan mayores cantidades de residuos. Desde esta lógica, existen dos aproximaciones que intentan responder esta preocupación. Por un lado, la corriente pesimista plantea que de mantenerse la tendencia actual, los efectos contrapuestos sobre el medio ambiente provocarán un trastorno ecológico-económico. Por otro, la

¹ Dirección de correo electrónico: rafael.burbano@epn.edu.ec

² Dirección de correo electrónico: pedro.cango@gmail.com

corriente optimista, desde la economía ambiental, considera que el crecimiento económico puede corregir los problemas ambientales en forma automática.

En esta lógica, en línea con la hipótesis de Kuznets (1955) para la desigualdad e ingreso per cápita, Malenbaum (1978) introdujo la hipótesis de la “intensidad de uso”, una relación en forma de U invertida para el ingreso y demanda de materiales. En estos términos, demostró que las economías que alcanzan un cierto nivel de renta entran en un proceso de desmaterialización o mejoras en su eficiencia energética. Al contrario, los países que aún no logran alcanzar dicho punto de inflexión estarían materializándose (mayor uso de materiales por unidad de producto).

Por su parte, Grossman y Krueger (1991) introdujeron el concepto de curva ambiental de Kuznets (CAK), una relación en forma de U invertida entre el ingreso y las emisiones de contaminantes que asume que la calidad ambiental en sus primeras etapas de desarrollo empeora pero, a partir de cierto nivel de ingreso, mejora.

En teoría, la curva ambiental de Kuznets se explica por el desarrollo científico y tecnológico, el incremento en la eficiencia de los procesos productivos (menor requerimiento de energía y materiales por unidad de PIB real), cambios en la composición de los sectores de la economía y regulaciones ambientales más estrictas (Crespo, 2008).

De acuerdo a la evidencia empírica, efectivamente se demuestra que para algunas economías de ingreso alto y para ciertos contaminantes la relación entre ingreso per cápita y contaminación sigue la forma de una U invertida. Sin embargo, para contaminantes tales como el CO₂ que puede permanecer durante años en la atmósfera, el problema surge porque este se acumula con el tiempo. Así, los científicos advierten que las consecuencias negativas de la concentración de CO₂ en la atmósfera serían irreversibles al sobrepasar los umbrales de concentración de entre 450 y 500 ppm (den Elzen & Meinshausen, 2006). De este modo, para que las emisiones globales disminuyan no basta una curva ambiental de Kuznets por país.

Así pues, esta investigación analiza la relación entre emisiones globales de CO₂ per cápita e ingreso per cápita, utilizando un modelo de regresión por tramos (dos tramos). Este tipo de modelos tienen una ventaja sobre los modelos polinomiales, porque su error siempre es más pequeño (Aslanidis, 2009). El estudio considera 164 países que representan el 96,4% de la población y el 91,9% de las emisiones de CO₂.

Los resultados muestran que en el primer tramo, cuando el ingreso es inferior al umbral de US\$ 22.258, hay una relación creciente entre el ingreso per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita (la parte creciente de la U invertida); en tanto que en el segundo tramo, a partir del umbral estimado, incrementos adicionales en el PIB per cápita no aumentan ni disminuyen las emisiones de CO₂ per cápita (aunque sería más preciso decir que las emisiones disminuyen en 26,5 kg). En consecuencia, no se cumple la curva ambiental de Kuznets global. La curva determinada por el ingreso per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita tendría la forma de un anzuelo o una J rotada. A esta forma de curva la hemos denominado “forma débil” de la curva ambiental de Kuznets.

En buena medida, la mayoría de los países, independientemente del nivel de ingresos, han experimentado mejoras en la eficiencia de los procesos productivos³, pero se advierte una paradoja: un aumento creciente del consumo de energía. Entre 1971 y 2012, el consumo mundial de energía disminuyó de 0,34 TEP (toneladas equivalentes

³ Los países que a lo largo de los años no mejoran su eficiencia energética son: Granada, Guinea Ecuatorial, Irán, Omán, Saint Kitts y Nevis, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Seychelles, Tonga, y Trinidad y Tobago.

de petróleo) por cada mil dólares de producto (dólares constantes de 2005⁴) a 0,24 TEP, es decir se redujo en 28,5%. No obstante, el consumo de energía no ha dejado de crecer; entre esos mismos dos años aumentó de 5,5 GTEP a 13,5 GTEP, un crecimiento de 145,6%.

Puesto que el consumo de energía está directamente asociado con las emisiones de CO₂ se entiende que, a pesar de los incrementos en la eficiencia de los procesos productivos, la “curva ambiental” mundial no se ajusta a la CAK sino a la forma débil.

2. Evidencia empírica sobre la CAK

A mediados de los años 50 del siglo pasado, Kuznets estableció una relación empírica en forma de U invertida entre el ingreso, medido a través del PIB per cápita, y la desigualdad del ingreso. Según Kuznets, al principio el crecimiento económico y el consecuente aumento del PIB per cápita generan un incremento en la desigualdad del ingreso pero, a partir de un punto de inflexión (el punto cúspide de la U invertida), los subsecuentes aumentos del PIB per cápita generan la reducción en la desigualdad.

En esta línea, Malenbaum (1978) demostró empíricamente que la relación entre el crecimiento económico y el consumo de minerales sigue una forma de U invertida. Es decir, hasta un determinado nivel de ingresos, el consumo de minerales se relaciona positivamente. Pero, a partir de dicho umbral, mayores ingresos hacen que la demanda de minerales disminuya. A este tipo de relación se conoce como la hipótesis de la intensidad de uso.

Posteriormente, los economistas Grossman y Krueger (1991) trasladaron dicho concepto a la economía ambiental; ellos establecieron una relación en forma de U invertida para el ingreso y la contaminación, específicamente SO₂ y humo (nube de finas partículas en suspensión, también conocida como smog). La implicación de esta hipótesis para la política ambiental es que el ambiente puede ser sacrificado con la esperanza de que, en el futuro, el crecimiento económico permita mejoras ambientales. Es decir, se plantea que en el largo plazo una economía de libre mercado y el crecimiento económico resultan ser estrategias adecuadas para resolver los problemas ambientales. Dicho de otra manera, los principios del *laissez faire*, *laissez passer* (dejad hacer, dejad pasar) que defienden las libertades y limitan la intervención del Estado se trasladan de la política económica a la política ambiental.

Teóricamente, la CAK se explicaría porque, en procesos tempranos de industrialización y desarrollo, la contaminación aumenta debido a políticas asociadas con el incremento de la producción y el empleo. Pero una vez alcanzado un cierto nivel de industrialización, las fuerzas del mercado inducen a cambios en la composición del producto y el consumo hacia el sector servicios que supuestamente tiene menores emisiones por unidad de producto (Arrow, et al., 1995; Tarazona, 1999; Friedl, et al., 2003; Stern, 2004).

Por otro lado, en economías donde el nivel de desarrollo es adecuado, la innovación tecnológica adquiere mayor importancia dentro del proceso productivo, lo cual permite alcanzar los objetivos económicos con menor impacto ambiental. Parafraseando a Stokey (1998), antes de alcanzar el umbral de ingreso cúspide de contaminación, la actividad económica se basa en tecnologías menos limpias, pero más allá de este umbral el crecimiento económico permite acceder a tecnologías más amigables con el medio ambiente, por lo que los niveles de polución disminuyen.

⁴ Para todo el documento, las magnitudes expresadas en US\$ serán dólares constantes de 2005.

Adicionalmente, la contaminación crea costos externos (externalidades) y para internalizar adecuadamente sus efectos se requiere de instituciones con políticas de mitigación estrictas, que solo pueden ser implementadas en países desarrollados (Andreoni, et al., 2001). En esta perspectiva, según Dasgupta, et al., (2001) el crecimiento económico mejora las capacidades para regular y hacer cumplir la normativa ambiental.

Así, diversos estudios encuentran que la relación entre ingreso per cápita y contaminación sigue una forma de U-invertida (Grossman, et al., 1991, 1993; Panayotou, 1993; Selden et al., 1994; Holz-Eakin, et al., 1995; Moomaw and Unruh, 1997; De Bruyn et al., 1998; Branford, et al., 2000; Heil and Selden, 2001; Cavlovic et al., 2000; Ehrhardt-Martinez et al., 2002) que da lugar al desacoplamiento o desmaterialización de las economías. Para otros investigadores, (Stokey, 1998; Jaeger, 1998; Andreoni, et al., 2000) la relación entre ingreso y contaminación tiene una forma de V-invertida (que obviamente tiene las mismas implicaciones de política ambiental que la U-invertida).

Por otra parte, existe evidencia econométrica (Dinda, 2003; citado en Dinda, 2004) de que la relación entre contaminación e ingreso adquiere una forma de una L invertida o de una J invertida (Dinda, 2010); estas son formas débiles de la CAK.

También se ha demostrado econométricamente (Grossman, et al., 1991; Galeotti, et al., 1999; Friedl, et al., 2003, Dinda, 2004) que la relación entre ingreso y ciertos contaminantes sigue una forma de N (sube, baja y vuelve a subir). Por el contrario, otros estudios (Cropper et al., 1994; Ekins, 1997; Dasgupta, et al., 2002; Perman et al., 2003; Dietz et al., 2003; Soytaş, et al., 2007; Clausen, et al., 2008; Mills et al., 2009; Huang et al., 2008; Jie, 2010; Fallahi, 2011; Yang, et al., 2014) simplemente llegan a concluir que no se cumple la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets.

De manera general, encontrar una curva ambiental de Kuznets depende del tipo de contaminación, del país y del periodo de análisis. Así pues, se ha demostrado empíricamente que existe una curva ambiental de Kuznets en forma de U-invertida solo para contaminantes locales como: NO_x, SO₂, CO, SPM: materias de partículas suspendidas (Grossman, et al., 1991; Lopez, 1994; Stern, et al., 2001; Friedl, et al., 2003). En cambio para contaminantes globales (CO₂), contrario al planteamiento de Kuznets, las emisiones aumentan con el crecimiento económico (Dinda, 2004).

Sin embargo, Nasir et al (2011) usando datos de Pakistán entre 1971 y 2011 concluyeron que existe una CAK para emisiones de CO₂ en dicho país; asimismo, Fosten et al (2012) utilizando información de Reino Unido entre 1830 y 2002, encontraron evidencia sobre la CAK en ese país.

Por otra parte, (Acaravci, et al., 2010) con datos entre 1960 y 2005 de 19 países de Europa, concluyeron que únicamente Dinamarca e Italia cumplen con dicha hipótesis. Por el contrario, Jie (2010) con información de Canadá entre 1948-2004 llegó a concluir que no se cumple la curva de Kuznets para emisiones de CO₂. Soytaş, et al., (2007), con datos de los Estados Unidos entre 1960 y 2004 también encontraron su inexistencia. Asimismo, Yang, et al. (2014), con datos de 29 provincias y 7 contaminantes de China entre 1985 y 2010 encontraron los mismos resultados. Por su parte, Yang, et al. (2014) considera que de más de 200 estudios empíricos publicados en revistas internacionales se evidencia menos consenso que controversia sobre la validez de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. Pero Stern (2004) ya había planteado que la mayor parte de la literatura de la CAK es econométricamente débil.

Por todo lo indicado, el modelo Kuznets parece cumplirse solo en determinadas realidades. Esto implica la necesidad de contextualizar el análisis con información más reciente para describir el tipo de relación entre emisiones de dióxido de carbono (principal gas responsable del efecto invernadero) e ingreso per cápita. De ahí que en la sección (2.2) se muestren los resultados de regresiones estimadas por países, donde se evidencia tal discrepancia empírica.

2.1. Metodología

Los datos de emisiones de CO₂ per cápita y PIB per cápita (US\$ constantes de 2005) fueron tomados de World Development Indicators.

Con esta información, hemos visto conveniente actualizar los estudios sobre el cumplimiento o no de la hipótesis de curva ambiental de Kuznets para 50 países de mayores ingresos y que cuentan con datos válidos para al menos 30 años. Estimaremos un modelo de regresión en dos tramos. En el primer tramo se estima una recta de regresión o una curva parabólica, en el segundo tramo los datos se ajustan a una recta⁵. Para estimar el punto de corte se considera cada dato valor del ingreso per cápita (variable independiente) como límite entre los tramos y se minimiza el coeficiente de ajuste R². De esta manera, se obtiene un número limitado de “formas funcionales” o de gráficos de la curva de interpolación: estas formas y su interpretación son: i) U invertida, se satisface la hipótesis de la CAK; ii) V invertida, es una variante de la hipótesis de la CAK; iii) Curva gamma Γ , las emisiones crecen y luego se estabilizan; el crecimiento puede ser lineal o cóncavo (la parte creciente de una U invertida), es la curva ambiental o hipótesis débil de Kuznets HD; iv) U o V invertida seguida de un segmento horizontal, se satisface la hipótesis de la CAK y con posterioridad las emisiones se estabilizan, la denominamos CAK + HD; v) Poligonal creciente, es la negación total de la hipótesis de la CAK, las emisiones son crecientes con el ingreso; el ritmo de crecimiento puede aumentar o disminuir; vi) Ninguna forma funcional. Cuando el coeficiente R² es inferior a 0,55 consideramos que el ajuste de los datos a la forma funcional no es suficientemente bueno como para aceptar el modelo de regresión. En este caso, no establecemos ninguna relación entre el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita.

Lo interesante de las primeras cinco formas funcionales es que permiten estimar la pendiente del último tramo que nos indica el aumento o la disminución de las toneladas de CO₂ per cápita emitidas que se generan por el aumento de 1.000 dólares en el ingreso per cápita (US\$ 2005).

Los resultados se presentan en la sección 2.2.

Por otra parte, de manera similar al análisis econométrico individual por país, a fin de examinar la hipótesis de curva ambiental de Kuznets global se estima un modelo de regresión en dos tramos. En el primer tramo se estima una recta de regresión o una curva parabólica, en el segundo tramo los datos se ajustan a una recta. En este caso, los países considerados en el análisis son aquellos con al menos 20 datos válidos entre 1961 y 2011. Estos países representan el 96,4% de la población y el 91,9% de las emisiones de CO₂ globales. Los resultados se muestran en la sección 3.

La especificación matemática del modelo es de la siguiente forma:

⁵ Para elegir entre dos segmentos rectilíneos o un segmento parabólico y una recta, se analiza el coeficiente R² ajustado (que penaliza el R² cuando se incrementa el número de coeficientes de la regresión).

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it|y_0} + \beta_2 y_{it|y_0}^2 + \beta_3 (y_{it} - y_0)_+ + \sum_{j=1}^{n-1} \beta_4 \delta_{jit} + \varepsilon_{it}$$

donde CO_{2it} representa las emisiones de CO_2 per cápita del país i en el año t ; y_{it} es el producto interno bruto per cápita del país i en el año t ; y_0 representa el umbral del PIB per cápita donde existe un cambio pronunciado en la pendiente; δ_j es una variable dicotómica por país; ε_{it} representa el error estocástico con media 0 y varianza constante. Las expresiones algebraicas corresponden a:

$$y_{it|y_0} = \min(y_{it}, y_0) = \begin{cases} y_{it} & \text{si } y_{it} \leq y_0 \\ y_0 & \text{si } y_{it} > y_0 \end{cases}$$

$$(y_{it} - y_0)_+ = \max(y_{it} - y_0, 0) = \begin{cases} 0 & \text{si } y_{it} \leq y_0 \\ y_{it} - y_0 & \text{si } y_{it} > y_0 \end{cases}$$

$$\delta_{jit} = \begin{cases} 1 & \text{si } j = i \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (\text{variable dicotómica por país})$$

Los coeficientes β_0, β_1 y β_2 son los coeficientes de la regresión cuadrática del primer tramo; el coeficiente β_3 es la pendiente del segundo tramo (función lineal). Para verificar un quiebre en el umbral y_0 basta observar la significancia estadística de β_3 .

2.2. Actualización de los estudios de la CAK para los países de alto ingreso

Los datos muestran que la relación entre ingreso y emisiones de CO_2 per cápita de 1 país se ajusta a la forma de una U invertida y para 7 países el ajuste es una V invertida. Los 7 países para los cuales se cumple la hipótesis de curva ambiental de Kuznets apenas representan el 0,53% de la población mundial y el 1,04% de las emisiones globales. La pendiente promedio ponderada por la población del último tramo es -0,91. Esto es, un aumento de 1.000 dólares en el ingreso per cápita reduce las emisiones per cápita en 0,91 toneladas.

Los puntos de inflexión o el nivel de PIB per cápita donde la relación entre emisiones de CO_2 per cápita e ingreso per cápita cambia de creciente a decreciente, son distintos de país a país. Por ejemplo, Emiratos Árabes Unidos alcanzó su punto de quiebre en un nivel de ingresos de \$75.040 (US\$ 2005); en cambio, Guinea Ecuatorial en \$8.692 (US\$ 2005).






El mayor número de países, 16, muestran una CAK en sentido débil o curva gamma (las emisiones crecen y a partir de cierto punto se estabilizan⁶). De igual manera, 6 países tiene un forma funcional CAK + HD (las emisiones crecen, decrecen y se estabilizan a medida que el ingreso aumenta). Es importante notar que entre ambos tipos de formas funcionales, los 22 países representan el 11,7% la población mundial y el 25,9% de las emisiones globales. Que las emisiones se estabilicen quiere decir que el flujo de emisiones será constante en el tiempo y, por la ley de la conservación de la materia, este flujo será absorbido por los sumideros de CO_2 (bosques) o por los océanos (incrementando la acidificación de los mares) o se irá acumulando en la atmósfera (acentuando el efecto invernadero y el cambio climático). La evidencia es que el planeta no está en un punto estacionario de emisiones (lo que ocurre cuando el flujo de emisiones es absorbido por los sumideros naturales). Así la concentración de CO_2 en la atmósfera es cada vez mayor. En 2012 la cantidad de CO_2 presente en la

⁶ Nuestra definición de "emisiones estables" es que la pendiente del tramo lineal esté entre -0,10 y +0,10.

atmósfera alcanzó las 393,1 PPM (partes por millón); y se espera que para 2015 o 2016 llegue a 400 PPM⁷.

Es notable también que 12 países de ingreso alto presentan una trayectoria creciente. Estos países, que contradicen absolutamente la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets, albergan al 4,5% la población mundial y representan el 6,7% de las emisiones globales. Finalmente, para 9 países, con el 0,9% de la población y el 2,2% de emisiones globales, la relación entre ingreso per cápita y emisiones de CO₂ per cápita es un tanto caótica por lo cual el coeficiente R², que mide cuán bueno es el ajuste econométrico, tiene un valor inferior a 0,55.

Tabla 1
Países de ingreso alto:
Ingreso per cápita vs Emisiones de CO₂ per cápita

Forma funcional	Pendiente			Nro. de países	Punto de retorno (prom)	Punto de estabilización (prom)	% emisiones de CO ₂ mundial	% de la población mundial
	Min	Max	Prom.					
	-0,53	-0,53	-0,53	1	17.066		0,1	0,1
	-0,15	-2,45	-0,97	6	34.056		1,0	0,5
	-0,10	0,10	0,02	16		21.681	23,2	9,5
	-0,10	-0,05	-0,08	6	18.724	24.859	2,7	2,1
	0,13	2,92	0,33	12			6,7	4,5
Ninguna				9			2,2	0,9

Fuente: Estimación de los autores usando datos de World Development Indicators.

En resumen, considerando únicamente el número de países, 22 países de los 50 analizados abonarían la hipótesis de una estabilidad en el nivel de emisiones (16 HD y 6 CAK+HD). Por otra parte, 12 países soportarían la hipótesis de un crecimiento de las emisiones en función del ingreso, y la evidencia en favor de la CAK es bastante pobre pues apenas 7 países satisfacen tal hipótesis. En 9 países no puede afirmarse nada.

2.3. Relaciones entre el ingreso y las emisiones de CO₂ en los países de ingreso medio y bajo

Bajo los supuestos que explican la existencia de una potencial curva ambiental de Kuznets, se tiene que la relación entre el ingreso y las emisiones de CO₂ en los países de ingreso medio y bajo debe ser creciente. El interés está en estimar la magnitud de la pendiente. De esta manera, se ha estimado un modelo con dos tramos lineales para

⁷ Organización Meteorológica Mundial. Comunicado de prensa N° 991. https://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_991_es.html

los 86 países con información válida para al menos 30 años; los resultados se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla 2
Países de ingreso medio y bajo
Ingreso per cápita vs Emisiones de CO₂ per cápita

Clasificación	Pendiente		Prom. ponderado de pendiente	Nro. de países	% emisiones CO ₂	Población (en millones)
	mínimo	máximo				
Alto	1,16	4.85	1.59	14	38.2	47.6
Medio	0,50	0,87	0,68	15	0.7	3.8
Bajo	0,11	0,48	0,29	20	2.2	7.2
Ningún ajuste				37	3.3	11.4

Fuente: Estimación de los autores usando datos de World Development Indicators.

En este caso ocurre también que en un importante número de países hay una relación caótica entre el ingreso per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita. La mayor preocupación se concentra en los 14 países cuya pendiente se encuentra por encima de 1 y que generan el 38,2% de las emisiones globales de CO₂.

3. Una curva ambiental global

Las emisiones de CO₂ tienen efectos globales; más aún tienen efectos en el largo plazo. Las emisiones que no son absorbidas en los sumideros naturales se acumulan en la atmósfera o en los océanos. En ambos casos los efectos son negativos: calentamiento global y cambio climático, y acidificación de los mares. Podría parafrasearse diciendo que las moléculas de CO₂ de la primera máquina de vapor que aún permanecen en la atmósfera, están entre las causas de que la temperatura en el verano de Quito, capital de Ecuador, vaya incrementándose año tras año.

Dicho así, no basta analizar si un país u otro satisface la hipótesis de la CAK; al contrario, interesa analizar qué ocurre con las emisiones globales. En estos términos, en esta sección se examina la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets a nivel agregado.

Esto lo hacemos tomando en cuenta que, en esta línea Arrow (Arrow et al., 1995) y Stern (Stern et al., 1996) consideran que el cumplimiento de la CAK en parte o en su totalidad puede explicarse por los efectos de intercambio en la distribución de industrias contaminantes. Es decir, las economías más desarrolladas exportan su proceso de producción más intensivo en contaminación hacia países menos desarrollados (Suri, et al., 1998). Este desplazamiento de industrias altamente contaminadoras ocurre cuando el país de origen posee regulaciones más estrictas en comparación con las existentes en países menos desarrollados. De esta forma, los países empobrecidos se convierten en exportadores de bienes intensivos en contaminación y los países ricos en importadores (Saint-Paul, 1994).

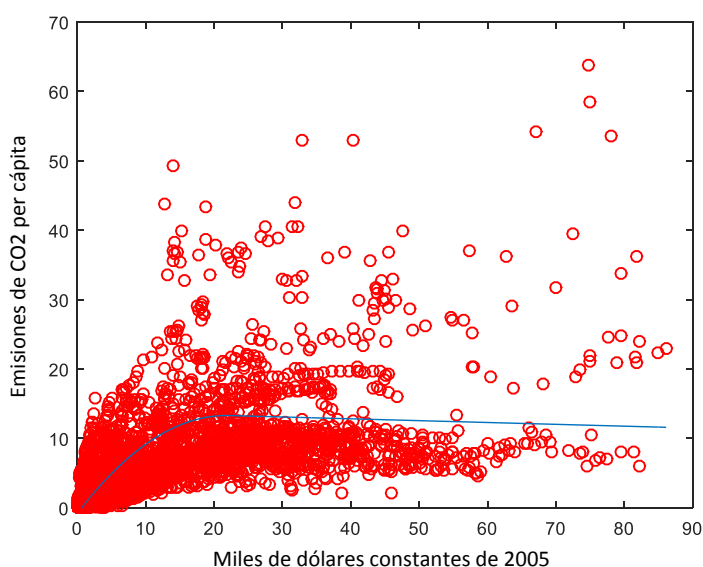
La tabla 3 muestra los resultados de la estimación econométrica entre el ingreso económico per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita para la regresión global.

Tabla 3
Estimación de emisiones de CO₂ per cápita e ingreso per cápita

Parámetros	Coefficientes	Valor t
β_0	0,425	2,000
β_1	1,292	79,160
β_2	-0,030	-51,25
β_3	-0,027	-6.84
R cuadrado		0,982
Número de observaciones		6.810
y_0		22.258

Fuente: Estimación de los autores usando datos de World Development Indicators.

Figura 1.
Emisiones de CO₂ per cápita vs PIB per cápita



Fuente: Estimación de los autores, usando datos de World Development Indicators.

La ecuación econométrica presenta una curva ambiental de Kuznets (CAK) en forma débil (curva Gamma): a partir del punto de inversión, la emisión de contaminantes se estabiliza en vez de reducirse como lo muestra la figura 1.

Por tratarse de una función cuadrática, la pendiente depende del nivel de ingreso. Por ejemplo, si en 2011 partimos del PIB per cápita promedio de los países pobres (US\$ 376), de ingreso medio (US\$ 2.446), el incremento de las emisiones de CO₂ per cápita por un incremento de US\$ 1.000 en el PIB per cápita promedio es de 1,27 toneladas de CO₂ y 1,15 toneladas respectivamente. A partir del umbral estimado (US\$ 22.258) incrementos adicionales en el PIB per cápita no aumentan las emisiones de CO₂ per cápita pero tampoco disminuyen (aunque sería más preciso decir que las emisiones disminuyen en 0,027 toneladas). Téngase en cuenta que el PIB per cápita promedio de los países de alto ingreso es de \$30.211.

El pico de emisiones per cápita promedio se obtiene en el valor de ingreso $y =$ US\$ 21.809⁸ y es igual a 14,5 (toneladas de CO₂) que viene a ser 2,93 veces las

⁸ El punto donde se obtiene el máximo de emisiones está ligeramente a la izquierda del umbral y_0 .

emisiones per cápita promedio mundial de 2011 que fue de 4,94 toneladas de CO₂. En el largo plazo, el flujo constante y permanente de emisiones estaría alrededor del triple de las emisiones actuales (sin contar el efecto del crecimiento poblacional). La estabilización de las emisiones de CO₂ en modo alguno es la panacea, pues solo indica que las emisiones ya no crecen cuando crece el ingreso medio, pero no que las emisiones bajen. Las emisiones de CO₂ “estabilizadas” son emisiones constantes que año a año, por la ley de la conservación de la materia, se acumulan en la atmósfera o en el mar; lo que genera el cambio climático y/o la acidificación de los mares.

Se advierte de inmediato que no se trata de un problema exclusivamente técnico, allí existe un componente político. Las relaciones de poder entrarían en juego: los países ricos podrían proponer que se detenga el crecimiento de todos (porque ellos ya tienen más de lo necesario) y los países pobres, con todo derecho, replicarían que eso no es justo: que necesitan salir de la pobreza.

Es discutible que el objetivo de los países de ingreso bajo y medio sea alcanzar el estándar de vida de los países ricos, pues el “estándar” incluye un consumismo no justificado, la generación de excesivos desperdicios y la cultura del descarte; tampoco se trata de que los países de ingresos bajos alcancen los niveles de emisión de los países ricos.

Así pues, la mejor opción no es esperar un punto de inflexión automático para hacer frente a problemas globales como el cambio climático. Dicho de otra manera, sabiendo que el uso de energía aumenta con el ingreso (Suri, et al., 1998) y puesto que en el largo plazo la causa de las emisiones de CO₂ es el consumo de energía, lo deseable es definir políticas integrales para reducir los niveles globales de contaminación. En esta línea, Soytas, et al., (2007), consideran que la respuesta o parte de la respuesta está en el aumento de eficiencia energética mediante el uso de energía renovable y/o en mayor consumo de energía más amigable con el medio ambiente (eólica, solar, gas natural). En este punto, interesa examinar la eficiencia energética.

4. Factores determinantes de la eficiencia energética

Pese a la mayor eficiencia energética alcanzada en los procesos productivos, las emisiones de CO₂ globales crecieron. Entonces, la eficiencia no es sinónimo de un menor uso de recursos en el planeta y tampoco equivale a menor impacto ambiental. Esto ya lo había dicho William Stanley Jevons, uno de los precursores de la economía ortodoxa, en su libro *The Coal Question* (1865), en el cual presentó la paradoja de que el cambio hacia energías más eficientes – debido a la multiplicación de los avances tecnológicos –, conduciría a la sociedad hacia un mayor consumo energético. En esta línea, Polimeni, et al., (2008) también demostró que incrementos en la eficiencia energética implican mayor demanda y consumo de energía.

Mientras más estrecha relación tengan las actividades de consumo y producción con la naturaleza, más impactos se provocarán en la biosfera; es decir: habrá más pasivos ambientales. Hasta hace poco, la humanidad creía que producía y consumía en un mundo de recursos infinitos y creía, al mismo tiempo, que el sistema económico operaba como un circuito cerrado y autónomo.

En la naturaleza rigen las leyes de la termodinámica, sobre todo la segunda ley, la de la entropía. Fue Georgescu-Roegen (1971) quien puso en evidencia que el sistema económico está inmerso en un sistema más complejo, que denominamos naturaleza. Esto marcó una ruptura científica revolucionaria. La implicación fuerte es que es necesario ir más allá de la linealidad del proceso económico, como lo entiende la economía ortodoxa (se toman recursos del ambiente, se transforman con capital y trabajo, y se consumen). La ley de la entropía explicita que todo este proceso implica

generación de residuos y destrucción de la naturaleza. Para reducir los impactos negativos se proponen mejoras o incrementos en la eficiencia de uso de los recursos y energía, y en el reciclaje de materiales. La energía no se puede reciclar.

Jackson (2011) explica que la eficiencia impulsa el crecimiento económico y/o el incremento cuantitativo de la escala física. Al reducir la mano de obra y los recursos, los incrementos en la eficiencia hacen disminuir el costo de los bienes; esto tiene el efecto de estimular la demanda y promover el crecimiento económico. Lejos de reducir el flujo de bienes y servicios, el progreso tecnológico sirve para incrementar la producción. Las nuevas tecnologías y productos que desplazan a los anteriores siguen apareciendo sin detenerse. Se aceleran los tiempos de la obsolescencia programada, de los productos de vida corta.

Sin duda, en el mundo hay mejoras en la eficiencia de los procesos productivos; es decir, se utiliza una menor cantidad de energía y materiales por unidad de PIB. No obstante, hay un problema crucial, las brechas tecnológicas: la eficiencia energética media de los países de alto ingreso ha sido muy superior a la eficiencia media de los países de ingresos bajos en el tiempo; adicionalmente, las brechas entre los países de alto y bajo ingreso han aumentado. La brecha de eficiencia energética media entre países ricos y pobres subió: en 1971, era de 4,1 veces; el año 2011, 5,1 veces.

En cuanto al incremento en eficiencia energética se pueden identificar varios grupos de países. Estados Unidos, la Unión Europea y Japón lideran los aumentos en eficiencia energética. El caso de China es importante: ha dado un salto impresionante en eficiencia energética, al igual que los denominados tigres asiáticos (especialmente Corea del Sur y Singapur). En contraste, los países de UNASUR mantienen su eficiencia energética prácticamente inalterada; un estancamiento que, en la práctica, es un retroceso.

Algunos elementos podrían explicar las diferencias en la eficiencia energética entre los grupos de países.

Primer factor: la diversidad de estructuras productivas. Las economías de los países de altos ingresos están orientadas especialmente al sector servicios. Entre 2005-2013, la participación promedio del sector servicios, industria y agricultura en el PIB en el grupo de países de ingreso alto fue de 73%, 25,5% y 1,5% respectivamente; en tanto que en el grupo de países de ingreso medio estos valores fueron de 52,8%, 36,8% y 10,3%; y en los de ingreso bajo 45,7%, 20,9% y 33,3% respectivamente⁹. En general, el sector servicios demanda menos energía que el sector industrial y este último demanda menos energía que cierto tipo de agricultura, la agricultura no mecanizada imperante en muchos de los países de ingresos bajos. Sin embargo la agricultura mecanizada puede demandar tanta energía como la industria.

Un segundo factor indudablemente tiene que ver con el grado de desarrollo tecnológico. Es conocido que la tecnología está asociada directamente con el nivel de ingreso; a su vez la eficiencia de los procesos productivos está directamente asociada con el nivel tecnológico. A mayor grado de tecnología, mayor eficiencia.

Tal vez sea suficiente citar dos indicadores para poner en evidencia las brechas en ciencia y tecnología. El número de técnicos, científicos y en general profesionales involucrados en la creación de nuevos conocimientos o de nuevos productos, procesos, etc. en el grupo de países de alto ingreso en el año 2010 fue de 3.553; para el grupo de países de ingreso medio en este mismo año se reduce a 553 y en el grupo

⁹ Fuente: Elaboración propia en base a la información de World Development Indicators, Banco Mundial, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>. Consultado el 5 de enero de 2016.

de países de ingreso bajo, apenas llega a 44¹⁰. La brecha tecnológica entre los países de alto ingreso respecto a los países de bajo ingreso expresada como número de veces de técnicos y de científicos es de 80,7 veces.

En el periodo en mención, 2005-2011, si revisamos las cifras respecto al gasto en investigación y desarrollo, los datos nos dicen que, en este rubro, los países de alto ingreso invirtieron el 2,3% de su PIB (equivalente a US\$ 698,7 per cápita); los de ingreso medio el 1% (equivalente a US\$ 22,1 per cápita) y los países de ingreso bajo el 0,2%¹¹ (equivalente a US\$ 0,79). Dicho de otro modo, los países de alto ingreso, como porcentaje del PIB, invierten 10,3 veces más en investigación y desarrollo que los países de ingreso bajo y 2,3 veces más que los países de ingreso medio; tomando en cuenta el tamaño de las economías y sus poblaciones, estos ratios se incrementan a 886,7 y 31,7 veces, respectivamente.

Según la UNESCO (2005), por naturaleza la ciencia es universal, pero el progreso científico parece limitarse sólo a una parte del planeta. Los mayores niveles de desarrollo científico prevalecen en aquellos países donde las oportunidades de investigación e innovación están articuladas a la dinámica de crecimiento y desarrollo de las empresas e industrias, y adonde las instituciones educativas y de investigación y el gobierno ofrecen mayores ventajas para su desarrollo. En los países del sur, esta interacción entre investigación (academia), empresas y gobierno es limitada.

A manera de ejemplo consideremos un grupo de 7 países representativos: Estados Unidos, Francia y Japón (países de ingreso alto); Brasil, China y Ecuador (países de ingreso medio alto), y El Salvador (país de ingreso medio bajo).

En relación al número de investigadores dedicados a crear nuevos conocimientos para 2011, por cada millón de habitantes, Estados Unidos tiene 4.011; Francia, 3.940 y Japón, 5.160; Brasil (2010), 698; China, 978. Mientras tanto, en el Ecuador son apenas 180. Lamentablemente, El Salvador no cuenta con información. Este año, los gastos en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB fueron: Estados Unidos, 2,8%; Francia, 2,2%; Japón, 3,4%; Brasil, 1,2%; China, 1,8%, y Ecuador (2008) 0,2%. El Salvador registró un porcentaje del 0,03%.

Como consecuencia de las cifras anteriores, en 2013, por cada millón de habitantes, el número de solicitudes de patentes fue: Estados Unidos, 1.806; Francia, 256, y Japón, 2.779; Brasil, 151; China, 608; Ecuador (2010) 44,3 solicitudes¹², y El Salvador en 1995 (último dato disponible) 12 solicitudes.

De manera general, se observa que los indicadores de ciencia, tecnología e innovación se encuentran altamente relacionados con el grado de desarrollo del sistema económico.

De igual manera, las exportaciones de productos de alta tecnología como porcentaje del total de exportaciones de productos manufacturados en Estados Unidos alcanza el 17,8%; Francia, 25,8%; Japón, 16,8%; Brasil, 9,6%; China 27%; Ecuador, 4,4%, y en El Salvador también el 4,4%.

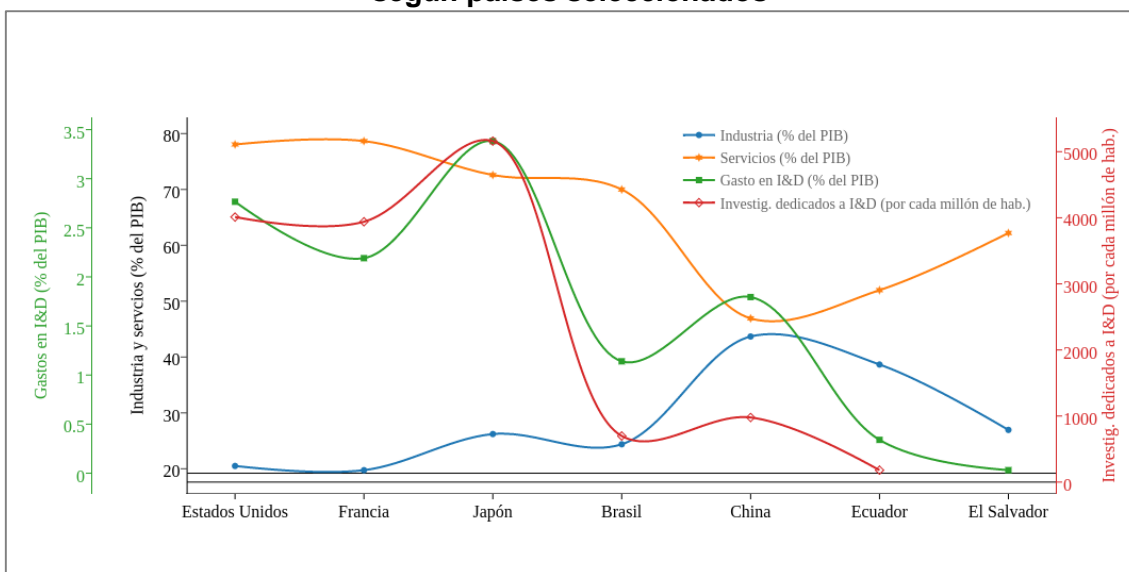
Estas “características productivas” y el tamaño de las economías marcan la distribución mundial de las exportaciones de productos de alta tecnología; así pues, para 2012, China concentra el 25,4% de las exportaciones mundiales, seguido por Estados Unidos con el 7,5%; Japón, 6,2%, y Francia, 5,4%; mientras que Brasil, El Salvador y Ecuador únicamente exportan el 0,4%, 0,009% y 0,003%, respetivamente.

¹⁰ Íbidem

¹¹ Íbidem

¹² De las cuales solo 0,3 solicitudes corresponden a de investigadores residentes y 44 a no residentes.

Figura 2. Factores determinantes: Gasto en I&D/PIB, sector servicios/PIB, sector industria/PIB e investigadores dedicados a I&D por cada millón de habitantes según países seleccionados



Fuente: World Bank (2015). World Development Indicators.

Como referencia, los niveles de emisión per cápita (en toneladas) en 2011 de estos países fueron: Estados Unidos, 17,0; Francia, 5,2; Japón, 9,3; Brasil, 2,2; China, 6,7; Ecuador, 2,2, y El Salvador, 1,1.

Estas “discrepancias” en los niveles de emisión per cápita no figuran cuando se consideran los promedios de emisión por grupo de ingreso. El cuadro siguiente deja en claro la estrecha relación entre mayores niveles de ingreso y mayores niveles de emisión en términos per cápita:

Grupo de ingreso	Emisiones de CO ₂ per cápita	Distribución porcentual (Población)	Distribución porcentual (Emisiones de CO ₂)
Alto	11.1	19.3%	44.0%
Medio alto	5.7	32.5%	38.0%
Medio bajo	1.5	39.7%	12.0%
Bajo	0.3	8.6%	0.4%
Total	4.9	100%	100%

Fuente: World Bank (2015). World Development Indicators.

El cuadro anterior refleja además las “responsabilidades comunes pero diferenciadas”. El grupo de países de alto ingreso, el denominado primer mundo, con el 19,3% de la población mundial es responsable del 44% de las emisiones totales. Al contrario, los países de ingreso medio bajo e ingreso bajo, que son el 48,2% de la población mundial, dan cuenta del 12,4% del total de emisiones.

Las responsabilidades globales de los países ricos no solo deben ir hacia la búsqueda de no aumentar las emisiones de CO₂ y en general a la disminución de los impactos ambientales, sino también deben orientarse a apoyar la reducción de las emisiones de CO₂ de los “otros países”, en particular de los países pobres y hacia la mejora de las condiciones de vida de estos países. Esto solo será posible mediante la cooperación científica y tecnológica, y la transferencia de tecnología de norte a sur. Es la mínima exigencia como contrapartida de las responsabilidades históricas de los países ricos, en la acumulación histórica de CO₂ en la atmósfera de nuestro único planeta.

5. Conclusiones

La investigación muestra que existe una curva ambiental de Kuznets únicamente para unos pocos países desarrollados, mientras que en términos globales no se cumple dicha hipótesis. Por el contrario, se verifica una curva ambiental de Kuznets débil, es decir, las emisiones aumentan hasta un nivel de ingresos de 22.258 (USD 2005), pero a partir de este punto, las emisiones se estabilizan. Esto hace que las emisiones se acumulen en la atmósfera y permanezcan en ella durante varios años, lo cual pone en peligro la estabilidad del planeta.

Ante esta problemática, es fundamental mejorar los procesos productivos, especialmente en los países del sur, para disminuir el consumo de energía por unidad de producto. Las posibles respuestas para acortar las brechas en eficiencia energética tienen que venir desde varios ángulos. Por una parte, indudablemente se deben cambiar las relaciones internacionales sustentadas en el poder de los países más ricos, a fin de lograr mejores accesos a la tecnología y al financiamiento. Más aún cuando esta tecnología es vital para paliar uno de los problemas más cruciales de la humanidad: el cambio climático.

Dada la brecha en tecnología entre los países del norte rico y los del sur pobre, se requieren acciones fuertes para cambiar las reglas internacionales en materia de comercio y propiedad intelectual, a fin de generar transferencias oportunas y eficientes en materia de conocimiento e innovación tecnológica, en particular en cuestiones ambientales. La dificultad de acceder a la tecnología (por ejemplo, por el alto costo de las patentes, en materia de eficiencia energética) es un impedimento fuerte en el esfuerzo colectivo del mundo por reducir los efectos del cambio climático.

Por otra parte, se debe evitar caer en la tentación de creer que las tecnologías son la solución a los problemas ambientales, y no la reducción efectiva del consumo de energía y emisiones, esto es, la 'descarbonización' de la economía de los países de ingresos más altos.

Reducir la producción y el consumo parecen lo más simple, pero pueden ser lo más difícil, políticamente hablando. Esta aparente simpleza muestra su complejidad al decidir qué productos deben ser los afectados por la reducción, según las necesidades vitales y el consumo de energía. Por ejemplo, las necesidades vitales exigen que los alimentos básicos mantengan su ritmo actual de producción; en cambio, los productos cuya manufactura demande mayor consumo de energía deben ser los más afectados. Esa solución es insuficiente y bastante conflictiva.

Si quemar combustibles fósiles es el problema principal, la solución principal es cambiar las fuentes de energía. El término que resume esa segunda solución es descarbonizar, es decir, dejar de depender del biocombustible (cuya base es el carbono) que proviene de fósiles (como carbón y petróleo) o de plantas actuales (como caña de azúcar y otras).

Aparte de las decisiones que puedan tomarse a escala nacional, una verdadera descarbonización solo es viable a escala internacional. La descarbonización de la economía podría contribuir a erradicar las actuales ineficiencias y a eliminar subsidios energéticos que nos están causando continuas pérdidas. La pregunta siguiente es ¿cómo descarbonizar la economía? Mediante energías renovables, que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

No obstante, también desde el Sur deben llegar propuestas que consideren la responsabilidad histórica del Norte en causar la contaminación y el acelerado cambio climático de la Tierra.

Agradecimientos

Los autores agradecen los valiosos comentarios del Dr. Jesús Ramos, profesor investigador de FLACSO- Sede Ecuador.

Bibliografía utilizada

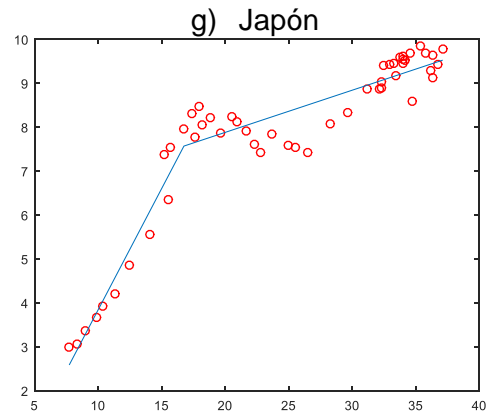
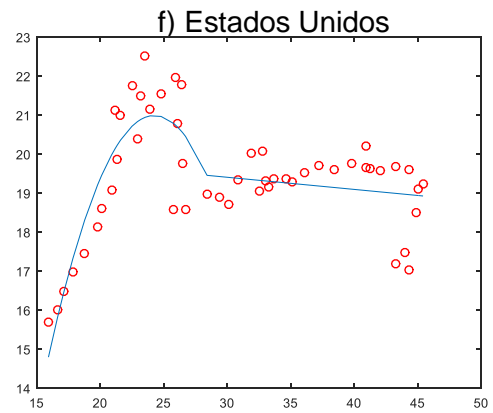
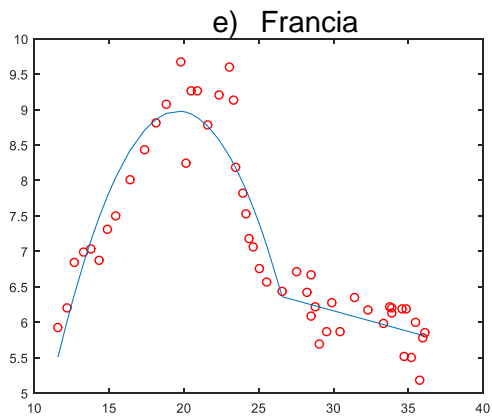
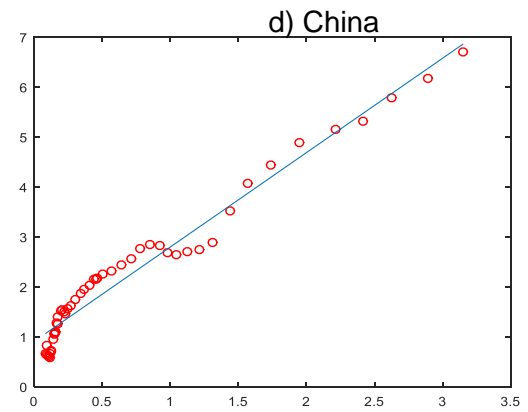
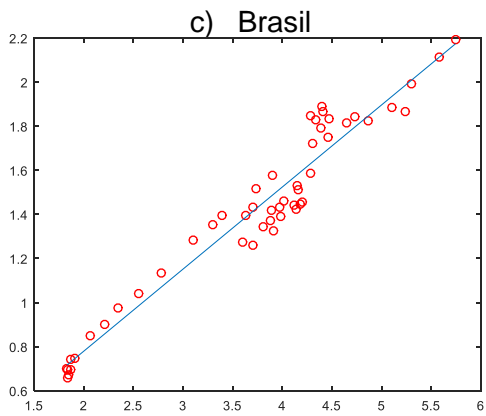
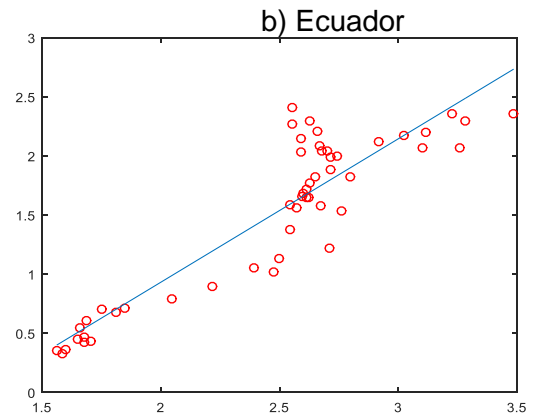
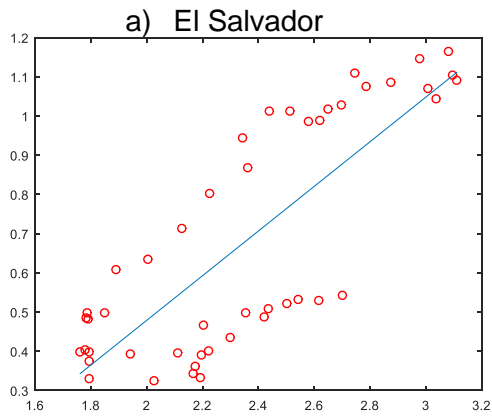
- Agras, Jean y Chapman, Duane (1999). A Dynamic Approach to the Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Ecological Economics* 28, 267 – 277.
- Acaravci, Ali y Ilhan Ozturk (2010). On the Relationship between Energy Consumption, CO₂ and Economic Growth in Europe. *Ecological Economics* 35, 5412-5420.
- Andreoni, James y Levinson, Arik (2001). The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Public Economics* 80 (2), 269– 286.
- Aslanidis, Nektarios (2009). Environmental Kuznets Curves for Carbon Emissions: A *Critical Survey*. *Nota Di Laboro*, 75, 1-33.
- Arrow, Kenneth, Bolin, B., Costanza, R., Folke, C., Holling, C.S., Janson, B., Levin, S., Maler, K., Perrings, C., Pimental, D., 1995. Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Science* 15, 91– 95 (reprint in *Ecological Economics*)
- Banco Mundial. (2015). World Development Indicators. Recuperado el 25 de abril de 2015, de <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>
- Brandoford, D.F., Schlieckert, R., Shore, S.H., (2000). The Environmental Kuznets Curve: Exploring a Fresh Specification. NBER. *Working Paper* 8001.
- Cavlovic, T.A., Baker, K.H., Berrens, R.P., Gawande, K., (2000). A Meta-Analysis of Environmental Kuznets Curve Studies. *Agricultural and Resource Economics Review* 29 (1), 32–42.
- Crespo, Patricio (2008). *Decisiones ambientales y liberalismo*. Quito. Ediciones Abya-Yala.
- Clausen, R., York, R., (2008). Global Biodiversity Decline of Marine and Freshwater Fish: a Cross-National Analysis of Economic, Demographic, and Ecological Influences. *Social Science Research* 37, 1310–1320.
- Cropper, M., Griffiths, C., (1994). The Interaction of Populations, Growth and Environmental Quality. *American Economic Review* 84, 250– 254.
- 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* 25, 161–175.
- Dasgupta, S., Mody, A., Roy, S., Wheeler, D., (2001). Environmental Regulation and Development: a Cross-Country Empirical Analysis. *Oxford Development Studies* 29 (2), 173– 187.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., Wheeler, D., (2002). Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives* 16 (1), 147– 168.

- Dietz, S., Adger, W.N., (2003). Economic Growth, Biodiversity Loss and Conservation Effort. *Journal of Environmental Management* 68, 23–35.
- Dinda, Soumyananda (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics* 49, 431-455.
- Dinda, Soumyananda, et al. (2000). Air Quality and Economic Growth: an Empirical Study. *Ecological Economics* 34, 409–423.
- Dinda, Soumyananda (2010). Environmental Kuznets Curve: An Envelope of Technological Progress. *Chandragupt Institute of Management Patna, India*
- Ehrhardt-Martinez, K., Crenshaw, E.M., Jenkins, J.C., 2002. Deforestation and the Environmental Kuznets Curve: a Cross-National Investigation of Intervening Mechanisms. *Social Science Quarterly* 83, 226–243
- Ehrlich, Paul y Holdren, John (1971). Impact of Population Growth. *Science (American Association for the Advancement of Science)* 171, 3977, 1212–1217.
- Ekins, P., (1997). The Kuznets Curve for the Environment and Economic Growth: Examining the Evidence. *Environment and Planning* 29, 805– 830.
- Fallahi, F., (2011). Causal Relationship between Energy Consumption (EC) and GDP: a Markov-Switching (MS) Causality. *Energy* 36, 4165–4170.
- Fosten, Jack, Bruce Morley y Tim Taylor (2012). Dynamic Misspecification in the Environmental Kuznets Curve: Evidence from CO₂ and SO₂ Emissions in the United Kingdom. *Ecological Economics* 76, 25-33.
- Friedl, Birgit y Getzner, M. (2003). Determinants of CO₂ Emissions in a Small Open Economy. *Ecological Economics* 45, 133-148.
- Galeotti, M., Lanza, A., (1999). Desperately Seeking (Environmental) Kuznets. *International Energy Agency, Paris, Working paper.*
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and Economic Process in Restropect*. Cambridge, Harvard University Press.
- Grossman, Gene y Krueger, Alan (1991). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. *NBER. Working Paper 3914.*
- Grossman, Gene y Krueger, Alan (1993). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. In: Garber, P. (Ed.), *The U.S. – Mexico Free Trade Agreement*. MIT Press, Cambridge, pp. 13–56.
- Heil, M.T., Selden, T.M., 2001. Carbon Emissions and Economic Development: Future Trajectories Based on Historical Experience. *Environment and Development Economics* 6, 63–83.
- Holtz-Eakin, D., Selden, T.M., (1995). Stoking the Fires?: CO Emissions and Economic Growth. *Journal of Public Economics* 57, 85–101.

- Huang, B.N., Hwang, M.J., Yang, C.W., (2008). Causal Relationship between Energy Consumption and GDP Growth Revisited: a Dynamic Panel Data Approach. *Ecological Economics* 67, 41–54.
- Jackson, Tim. (2011). *Prosperidad sin crecimiento. Economía para un planeta finito*. Barcelona. Icaria Editorial.
- Jie, Patrick (2010). Environmental Kuznets Curve for CO₂ in Canada. *Ecological Economics* 69, 1083 – 1093.
- Kuznets, Simon (1955), Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Labandeira, Xavier, León, Carmelo y Vázquez, Xosé (2007). *Economía Ambiental*. Prentice Hall.
- Linares, Pedro (2009). Eficiencia energética y medio ambiente. *Economía y medio ambiente* 847, 75-92.
- Lopez, R. (1994). The Environment as a Factor of Production: the Effects of Economic Growth and Trade Liberalization. *Journal of Environmental Economics and management* 27, 163–184.
- Malenbaum, W. (1978). *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. McGrawHill, New York.
- Mills, J.H., Waite, T.A., (2009). Economic Prosperity, Biodiversity Conservation, and the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics* 68, 2087–2095.
- Moomaw, W.R., Unruh, G.C., (1997). Are Environmental Kuznets Curve Misleading us? The Case of CO Emissions. *Environment and Development Economics* 2, 451– 463.
- Nasir, M., Rehman, F., (2011). Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Pakistan: an Empirical Investigation. *Energy Policy* 39, 1857–1864.
- Panayotou, T., (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development, ILO, *Technology and Employment Programme*, Geneva.
- Perman, R., Stern, D.I., (2003). Evidence from Panel Unit Root and Cointegration Tests that the Environmental Kuznets Curve does not Exist. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 47, 325–347.
- Polimeni John, Kozo Mayumi, Mario Giampietro y Blake Alcott (2008). *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*. London. Earthcan.
- Saint-Paul, Gilles (1994). Discussion. En: Golding, Ian y Alan Winter (Eds.), *The Economics of Sustainable Development*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 47–50.
- Selden, T., Song, D., (1994). Environmental Quality and Development: is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?. *Journal of Environmental Economics and management* 27, 147– 162.

- Soytas, Ugur (2007). Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States. *Ecological Economics* 62, 482 – 489.
- Stanley, W. (1865). *The Coal Question*. London, Macmillan & Co.
- Stern, D.I., Common, M.S., Barbier, E.B., (1996). Economic Growth and Environmental Degradation: a Critique of the Environmental Kuznets Curve. *World Development* 24, 1151– 1160.
- Stern, D.I (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development* 32 (8), 1419–1439.
- Stokey, N.L., (1998). Are there Limits to Growth? *International Economic Review* 39 (1), 1– 31
- Suri, V., Chapman, D., (1998). Economic Growth, Trade and the Environment: Implications for the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics* 25, 195– 208.
- Unesco World Report (2005). *Towards Knowledge Societies*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Yang, Haisheng, He Jie y Chen Shaoling (2014). The Fragility of the Environmental Kuznets Curve: Revisiting the Hypothesis with Chinese Data via an “Extreme Bound Analysis”. *Ecological Economics* 109, 41-58.
- Zhang, Xing (2009). Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China. *Ecological Economics* 68, 2706-2712.

Anexo 1. Relación entre emisiones de CO₂ per cápita y PIB per cápita



Fuente: Estimación de los autores usando datos de: World Development Indicators.