

## Relación entre crecimiento económico y degradación ambiental, un análisis a nivel global por niveles de ingresos

### Relationship between economic growth and environmental degradation, a global analysis by income levels

Verónica Sánchez<sup>1</sup>

*Carrera de Economía Universidad Nacional de Loja, Loja Ecuador*

#### Resumen

La presente investigación tiene como objetivo examinar la relación entre el crecimiento económico y la degradación ambiental para 122 países durante el periodo 1990-2013, mediante técnicas de cointegración con datos de panel. Los países fueron clasificados de acuerdo a su nivel de ingreso mediante el método Atlas del Banco Mundial (2017). Los principales resultados muestran que la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB per cápita para países de ingresos altos y medios altos, no se ajusta a la curva ambiental de Kuznets (1992), sin embargo, para los países de ingresos bajos y medios bajos la relación entre la superficie vegetal y PIB per cápita se aproxima a la forma de la curva ambiental de Kuznets (1992) siendo esto más notorio en países de ingresos medios bajos. En los países de ingresos bajos y medios bajos, las políticas deben enfocarse en la adecuada explotación de recursos naturales ya que esta debe realizarse con las tecnologías eficientes y no exceder esta extracción de recursos naturales a su conservación.

#### Abstract

The present investigation aims to examine the relationship between economic growth and environmental degradation for 122 countries during the period 1990-2013, through cointegration techniques with panel data. The countries were classified according to their income level using the Atlas method of the World Bank (2017). The main results show that the relationship between CO<sub>2</sub> emissions and GDP per capita for high and middle-income countries does not fit the environmental Kuznets curve (1992), however, for low and middle income countries low the relation between the vegetal surface and GDP per capita approaches the shape of the environmental curve of Kuznets (1992) being this more noticeable in countries of low average income. In low and middle-low income countries, policies must focus on the adequate exploitation of natural resources since this must be done with efficient technologies and not exceed this extraction of natural resources to their conservation.

**Palabras clave:** Environmental Curve of Kuznets. Income level. Panel data.

**Códigos JEL:** Q50. O13. Q56. C33

**Keywords:** Environmental Curve of Kuznets. Income level. Panel data.

**JEL Codes:** Q50. O13. Q56. C33

## 1. Introducción

El crecimiento económico de los países tiene una influencia importante sobre el medio ambiente. El insostenible modelo de producción y consumo, particularmente en los países industrializados, es la causa mayor del deterioro continuo del medio ambiente global, es así que entre el 60 % y el 70 % de los ecosistemas del mundo se están degradando más rápido de lo que pueden recuperarse (Banco Mundial, 2015). En tanto se ha registrado un aumento de las industrias que emiten más carbono y que a menudo son contaminantes, dando como resultado un agotamiento de los recursos naturales y un cambio climático. La degradación ambiental medida a través de las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, en promedio actual en el aire oscila alrededor de 400 ppm, o 0,038%, con algunas variaciones día-noche, estacionales (por la parte antrópica) y con picos de contaminación localizados. En 2008, los países menos desarrollados representaban más del 50% de las emisiones mundiales, pero en parte debido la producción de bienes para los países ricos. El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2013) señala que entre 1750 a 2011, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento liberaron 375 [345 a 405] PgC según las estimaciones obtenidas a partir de las estadísticas de utilización de energía y combustible. En el período 2002-2011, el promedio de las emisiones de los combustibles fósiles y de la producción de cemento era de 8,3 [7,6 a 9,0] PgC año (nivel de confianza alto), con una tasa de crecimiento medio del 3,2% año. Contrastando esta información, el Centro de Análisis de la Información sobre el Dióxido de Carbono CDIAC (2017), señala que desde 1751, poco más de 400 mil millones de toneladas métricas de carbono han sido liberados a la atmósfera por el consumo de combustibles fósiles y la producción de cemento, la mitad de estas emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles se han producido desde finales de los años ochenta. La estimación global de emisiones de carbono de combustibles fósiles en el año 2014, fue de 9855 millones de toneladas métricas de carbono, representa un máximo histórico y un aumento del 0,8% con respecto a las emisiones de 2013. El ligero aumento continúa una tendencia de tres años de modesto crecimiento anual por debajo del 2% anual. Este leve crecimiento se produce después de una rápida recuperación de la Crisis Financiera Global 2008-2009, que tuvo consecuencias a corto plazo en términos económicos y de uso de energía, especialmente en América del Norte y Europa.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarán el 130% de aquí a 2050 y la inversión necesaria para reducir a la mitad las emisiones y desarrollar una revolución internacional de las tecnologías energéticas se elevará a 45.000 millones de dólares de aquí al año 2050. Adicionalmente, entre 1750 y 2011, se estima que el cambio de uso del suelo, principalmente la deforestación, observado a partir de los datos y los modelos de la cubierta terrestre, ha liberado 180 [100 a 260] PgC. En las emisiones derivadas del cambio de uso del suelo entre 2002 y 2011 predomina la deforestación tropical y se estiman en 0,9 [0,1 a 1,7] PgC año<sup>-1</sup> (nivel de confianza medio), con una posible pequeña disminución en la década de 1990 debido a la menor pérdida de bosque registrada en ese período (IPCC, 2013). Estas cifras alarmantes han generado interés y comprometimiento mundial para tratar de mitigar este problema medioambiental. Es así que la discusión acerca de la relación entre crecimiento económico y medio ambiente se ha centrado en el análisis de la hipótesis de Kuznets conocida como Curva Ambiental de Kuznets (CKA) llamada así por su similitud con la relación de Kuznets (1995), relación entre desarrollo económico y distribución de la renta equidad/ingreso, la CKA establece que la relación entre crecimiento económico y la degradación ambiental presenta una forma de U invertida, se podría decir que la CKA en las primeras etapas de desarrollo de un país se producen pérdidas en términos de calidad medioambiental que serán compensadas con las ganancias que aparecían una vez que se superara un determinado umbral de renta per cápita.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo realizar una estimación de la curva ambiental de Kuznets para el mundo, para lo cual se tomará 122 países que cuentan con los datos disponibles para el periodo 1990-2013, mediante la especificación de un modelo de datos de panel. Por otro lado, el problema a abordar radica en que mientras los países desarrollados reducen sus niveles de contaminación, los países en vías de desarrollo presentan mayores niveles de contaminación, tal como lo expresan diferentes estudios que se vienen realizando. En este sentido, tratamos de comprobar la hipótesis propuesta en la investigación: un mayor nivel de ingreso per cápita corresponde a una disminución en la degradación ambiental. Por lo tanto, la pregunta a plantear es la siguiente ¿Cuál es la relación entre la degradación ambiental y el PIB per cápita para un conjunto de 122 países?

Para responder esta pregunta se tomará grupos de países según su nivel de ingresos utilizando el método Atlas del Banco Mundial (2017). Además, debido a que la existencia de la relación CKA ha sido fundamentada de manera multifactorial, se analizará cada uno de los efectos explicativos: efecto composición, desplazamiento y progreso tecnológico.

El presente trabajo a diferencia de otras investigaciones previas, realiza una estimación de la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental para grupos de países por niveles de ingreso, con el fin de determinar otros factores que influyen en la degradación del medio ambiente. La evidencia empírica presentada en este trabajo muestra que al considerar una muestra de 122 países en el periodo 1990-2013, mediante un modelo de datos de panel, la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB per cápita para países de ingresos altos y medios altos, no se ajusta a la curva ambiental de Kuznets. Sin embargo, para los países de ingresos bajos y medios bajos la relación entre la superficie vegetal y PIB per cápita se aproxima a la curva ambiental de Kuznets siendo esto más notorio en países de ingreso medios bajos.

Además de la introducción, este trabajo incluye cuatro secciones. La segunda sección proporciona una breve revisión de la literatura teórica previa y empírica. La tercera sección describe los datos, metodología y plantea el modelo econométrico. La cuarta sección discute los resultados encontrados y la sección cinco presenta las conclusiones, recomendaciones e implicaciones de política.

## 2. Revisión de la literatura

La discusión acerca de la relación entre crecimiento económico y medio ambiente se ha centrado en el análisis de la hipótesis de Kuznets conocida como Curva ambiental de Kuznets llamada así por su similitud con la relación de Kuznets (1995), relación entre desarrollo económico y distribución de la renta (equidad/ingreso), en esta relación Kuznets planteó que al inicio del proceso de desarrollo las economías presentaban una distribución del ingreso bastante equitativa, sin embargo, conforme el proceso se aceleraba esta relación comienza a deteriorarse hasta alcanzar un nivel máximo. Esta relación ha sido extrapolada al campo ambiental a partir de un informe sobre el desarrollo preparado por el Banco Mundial en 1992, es así que la Curva Ambiental de Kuznets (CKA) establece que la relación entre crecimiento económico y la degradación ambiental presenta una forma de U invertida indicando que los bajos niveles de crecimiento, traducidos en bajos ingresos, están correlacionados con un creciente deterioro en el medio ambiente, pero después de un cierto punto de inflexión del ingreso per cápita, la relación entre las dos variables se vuelve negativa (Catalán, 2014). Podría decirse que la CKA en las primeras etapas de desarrollo de un país se produce pérdidas en términos de calidad medioambiental que serán compensadas con las ganancias que aparecían una vez que se superaba un determinado umbral de renta per cápita. Cuanto más desarrollados son los países, las personas tienen mayores ingresos per cápita y el nivel de la educación es mayor, surge un mayor interés entre la población por la calidad del medio ambiente, que se ve reflejado por mejoras en la productividad, dando como resultado que la contaminación aumenta a una velocidad más lenta que en las primeras etapas de desarrollo (Alvarado & Toledo, 2016).

Existe una amplia literatura empírica que verifica la relación entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, es así que aportes como los de Grossman & Krueger (1995) verifican que la relación entre el nivel de ingreso per cápita y el deterioro de la calidad del medio ambiente se representa por una curva con forma de U invertida, en la misma línea de representación de la CKA, Catalán (2014) señala que, al considerar una muestra de 144 países en el periodo de 1990 a 2010 mediante un modelo de datos panel, la relación entre las emisiones per cápita de CO<sub>2</sub> y el PIB per cápita se ajusta a una curva ambiental de Kuznets en forma de N, en la cual los países con bajo ingreso per cápita tienden a elevar las emisiones per cápita y con ello el deterioro ambiental debido a que la explotación de los recursos naturales se realiza con las tecnologías no eficientes y la extracción de los recursos naturales excede a su conservación, además en estos países la estructura de la economía se concentra en la agricultura y en la industria, con alto consumo de combustibles de origen fósil, bajos niveles de eficiencia energética, así como una escasa protección de los recursos naturales y la biodiversidad. Además, el mismo autor señala que no puede argumentarse que es posible “salir” de los problemas ambientales exclusivamente a través del crecimiento económico, las estimaciones de la CKA incluyendo variables de control, muestran que las mejoras ambientales no dependen solo del crecimiento económico, la eficiencia energética

es una variable relevante en el diseño de políticas para lograr reducir las emisiones, así como la protección a la diversidad y conservación de áreas naturales, en consecuencia las políticas regulatorias en materia ambiental y energética juegan un papel relevante en revertir el deterioro ambiental.

De este modo, el problema ambiental no se reduce a la evolución del crecimiento económico (Arrow, et al., 1995). Sino que debe considerarse el papel de los mercados, la innovación tecnológica y las regulaciones ambientales. Correa, Vasco & Pérez (2005), en un trabajo realizado para Colombia, concuerdan que el crecimiento económico no es la única solución para el deterioro ambiental: el comercio internacional y otras políticas que impulsan el crecimiento de la producción nacional no son sustitutos de las regulaciones que promuevan el cuidado del medio ambiente, por el contrario el crecimiento económico debe ir acompañado de estrictas reformas en cuanto a las legislaciones ambientales, donde una de las principales reformas debería ser generar, o encontrar, señales que indiquen cuándo el uso de los recursos está causando daños ambientales, también señalan que Colombia se encuentra en la fase creciente de la curva medio ambiental de Kuznets, es decir, todo crecimiento económico se traduce en un mayor deterioro ambiental, puesto que es un país en vías de desarrollo.

En esta misma línea de debate para el país Túnez, Shahbaz, Khraief, Uddin & Ozturk (2014) señalan que existe una relación a largo plazo entre el crecimiento económico, las emisiones de CO<sub>2</sub>, y otras variables como el consumo de energía, la apertura comercial. Además, el consumo de energía aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> y la apertura comercial contribuye a las emisiones de CO<sub>2</sub>, el análisis causal de Granger (1969) revela que los resultados generales señalan que el crecimiento económico causa a las emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía, el estudio tiene una contribución significativa para las implicaciones de política para reducir los contaminantes energéticos mediante la aplicación de normas favorables al medio ambiente para sostener el desarrollo económico. Por otro lado, un estudio realizado para el mismo país, Jebli & Youssef (2015) demostraron la existencia de una causalidad unidireccional de corto plazo que se extiende desde el comercio, el PIB, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía no renovable a la energía renovable, en este caso la hipótesis de la curva Kuznets ambiental CKA invertida en forma de U no se extiende gráfica y analíticamente a largo plazo. Esto significa que Túnez todavía no ha alcanzado el nivel requerido de PIB per cápita para obtener una CKA invertida en forma de U. Otros estudios realizados en Croacia e Indonesia, muestran la existencia de una relación de U invertida entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento económico a largo plazo que es la validez de CKA (Ahmad, Du, Lu, Wang, Li & Hashmi, 2016; Sugiawan & Managi, 2016) respectivamente. Sin embargo, en Croacia en el corto plazo los resultados muestran la ausencia de CKA y una causalidad unidireccional que iba desde el crecimiento económico hasta las emisiones de CO<sub>2</sub> a largo plazo, en este caso se considera al crecimiento económico como un apoyo para superar la contaminación ambiental en Croacia, es decir la contaminación disminuirá con el crecimiento y desarrollo. Li, Wang & Zhao (2016) muestran dos conclusiones sólidas con respecto a las emisiones de contaminantes en China: la relación CKA y la correlación positiva con el consumo de energía, tanto a corto como a largo plazo, son consistentemente apoyadas en los datos, sin embargo, los efectos positivos de la apertura comercial y la urbanización en la degradación ambiental son significativos sólo a largo plazo y pueden variar en gravedad a través de diferentes emisiones contaminantes.

Por otro lado, Mrabet & Alsamara (2015) indican que la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y el PIB real per cápita es en forma de una U, es decir, la hipótesis CKA no es válida para Qatar cuando se utiliza el CO<sub>2</sub> como indicador de la degradación ambiental, por lo tanto, la variable huella ecológica como indicador de la degradación del medio ambiente se incluye en este trabajo. Al igual que en Qatar, en Vietnam la hipótesis de la EKC no existe porque la relación entre el PIB y la contaminación es positiva tanto a corto como a largo plazo, en este estudio en Vietnam se puede rescatar que las importaciones aumentan la contaminación, lo que indica que la mayor parte de los productos importados de Vietnam consumen mucha energía y están altamente contaminados. Además, el consumo de energía de los combustibles fósiles aumenta la contaminación y la mano de obra reduce la contaminación ya que la mayor parte de la mano de obra de Vietnam se encuentra en los sectores agrícolas y de servicios que consumen menos energía que el sector industrial (Mulali, Saboori & Ozturk, 2014).

Los argumentos que sostienen la idea de la curva son numerosos. En primer término, se considera que la

elasticidad ingreso de la demanda de calidad ambiental es un factor determinante para cambiar la pendiente de la relación entre degradación ambiental y producto. Esto es así porque se asume que sólo las sociedades más desarrolladas, con necesidades básicas plenamente satisfechas, demandarán mejoras en la calidad ambiental y presionarán a realizar modificaciones para controlar el impacto que sobre el medio ambiente tienen las actividades de producción y consumo. En segundo lugar, los cambios en las estructuras productivas de las economías industriales hacia economías más intensivas en el sector servicios favorecen mejoras en las condiciones ambientales toda vez que este último sector es notablemente menos contaminante y ejerce menor presión sobre los recursos naturales. Este efecto composición se conjuga con las mejoras tecnológicas para superar el impacto negativo que sobre el medio ambiente tiene la escala de la economía, logrando así revertir la pendiente de la curva. Por último, otros factores como el comercio entre naciones y la celebración de acuerdos internacionales en la materia, pueden claramente afectar la relación entre la actividad económica y el medio ambiente (Zilio, 2012).

Por otro lado, el papel de las políticas que promuevan la energía renovable, es decir, que busquen un enfoque eficiente para reducir los niveles de contaminación juegan un papel muy importante, es así que en algunos países africanos el impacto positivo de la intensidad energética en las emisiones aumenta la necesidad de que los responsables de la formulación de políticas busquen y empleen fuentes de energía renovables (solar, eólica, geotérmica y biodiesel) y las tecnologías de inversión verde debido a la aparente influencia del consumo de energía sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> (Shahbaz, Adebola & Ozturk, 2016; Ali, Abdullah & Azam, 2015). Las políticas de conservación de combustibles fósiles y la mejora de las políticas energéticas de los no-carbohidratos pueden ser un enfoque eficiente para reducir los niveles de emisiones de carbono (Onater, 2016).

La evidencia a favor de una fuerte relación entre las variables, crecimiento económico y degradación ambiental, es mayor que la evidencia en contra de la hipótesis ambiental de Kuznets, el debate sigue abierto dado que los resultados difieren según el país, su nivel de desarrollo y la metodología empleada. En particular, las diferencias entre los resultados debido al uso de diferentes metodologías pueden debilitar la evidencia a favor o en contra de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets. Este trabajo contribuye a la literatura reciente con evidencia empírica para los grupos de países por su nivel de ingresos incorporando variables que reflejen la degradación ambiental en cada grupo de países según su desarrollo medido por su nivel de ingreso per cápita.

### 3. Datos y metodología

#### 3.1. Datos

En el presente trabajo de investigación se utilizan datos tomados de la base del Banco Mundial a partir del año 1990 al 2013 para 122 países, la misma que fue elaborada y publicada por la plataforma en línea del Banco Mundial (2017), para examinar la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental. Se trabajó con datos de panel que combinan una dimensión temporal con otra transversal. Además, se utilizó tres variables como se detalla en la Tabla 1; para explicar la degradación ambiental en países de ingresos altos y medios altos se utilizó las emisiones de CO<sub>2</sub>, en cambio para los países de ingresos bajos y medios bajos se ha utilizado la superficie forestal; para explicar el crecimiento económico se utilizó el PIB per cápita. También hay que sopesar que las variables PIB per cápita y superficie forestal se las transformó a escala logarítmica mediante el uso de un paquete de software estadístico STATA.

**Tabla 1.** Descripción de variables

<b>VARIABLES</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>EXPRESADA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
PIB per cápita	PIB	US\$ a precios constantes de 2010	El PIB per cápita es el producto interno bruto dividido por la población a mitad de año
Emisiones de CO2 (PIA; PIMA)	CO2	Toneladas métricas per cápita	Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.
Superficie forestal (PIB; PIMB)	SF	Kilómetros cuadrados	El área forestal es la tierra bajo montes naturales o plantados de árboles de al menos 5 metros in situ, sean productivos o no, y excluye los árboles en sistemas de producción agrícola (por ejemplo, en plantaciones de frutas y sistemas agroforestales) y árboles en parques y jardines urbanos

Para analizar los resultados por grupos de países, de acuerdo a su nivel de ingreso, hemos agrupado los países utilizando el método Atlas, es así que para el presente año fiscal 2017, las economías de bajos ingresos (PIB) se definen como aquellos con un ingreso nacional bruto per cápita, de \$ 1025 o menos en el año 2015; economías de ingreso medio bajo (PIMB) son los que tienen un ingreso nacional bruto per cápita entre \$ 1026 y \$ 4035; economías de renta media-alta (PIMA) son los que tienen un ingreso nacional bruto per cápita entre \$ 4036 y \$ 12475; y las economías de altos ingresos (PIA) son las que tienen un ingreso nacional bruto per cápita de \$ 12,476 o más. En la tabla 2 podemos ver esta clasificación de acuerdo al objeto de investigación.

Como punto de partida y previo al análisis econométrico, se realizó un análisis descriptivo y de correlación de las variables. En la Figura 1 se muestra la evolución de las variables PIB per cápita y las emisiones de CO2 para los PIA y PIMA en el periodo de 1990 al año 2013. Se observa que la variable PIB per cápita sigue una tendencia creciente y positiva al pasar de los años casi siempre por encima de las emisiones de CO2 a excepción desde el año 2011 que está por debajo de las emisiones de CO2. La variable CO2 al igual que el PIB per cápita sigue una tendencia creciente y positiva a través de los años. De esto podríamos inferir levemente que la hipótesis de Kuznets en países de ingresos altos y medios altos no se cumple.

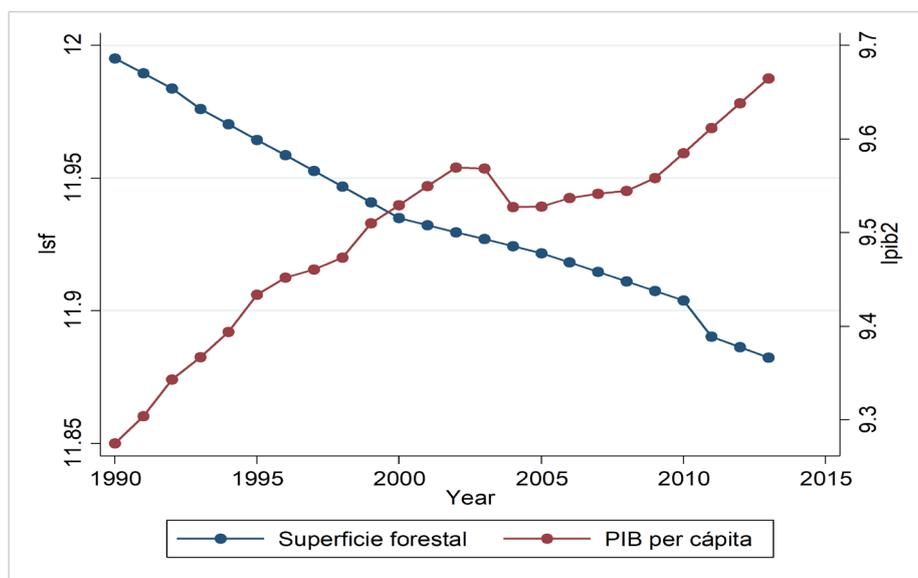
En la Figura 2 se muestra la evolución de las variables PIB per cápita y superficie forestal para los PIB y PIMB en el periodo de 1990 al año 2013; se observa que la variable PIB per cápita sigue una tendencia creciente y positiva al pasar de los años, aunque tiende a caer en el año 2011. La variable superficie forestal sigue una tendencia decreciente a través de los años. De esto podríamos inferir que la hipótesis de Kuznets en países de ingresos bajos y medios bajos se cumple.

**Tabla 2.** Clasificación de los países según el Método Atlas.

PIA	PIMA	PIB	PIMB
Antigua and Barbuda	Albania	Benin	Bangladesh
Australia	Algeria	Burkina Faso	Bhutan
Austria	Argentina	Burundi	Bolivia
Bahrain	Bahamas, The	Chad	Cabo Verde
Belgium	Belize	Comoros	Cameroon
Bermuda	Botswana	Congo, Dem. Rep.	Congo, Rep.
Brunei Darussalam	Brazil	Ethiopia	Cote d'Ivoire
Canada	Bulgaria	Gambia, The	Egypt, Arab Rep.
Chile	China	Guinea-Bissau	El Salvador
Cyprus	Colombia	India	Ghana
Denmark	Costarica	Liberia	Honduras
Finland	Cuba	Madagascar	Indonesia
France	Dominica	Malawi	Iran, Islamic Rep.
Greece	Dominican Republic	Mali	Iraq
Guatemala	Ecuador	Mozambique	Mauritania
Hong Kong SAR, China	Equatorial Guinea	Nepal	Mongolia
Iceland	Fiji	Niger	Morocco
Ireland	Gabon	Nigeria	Myanmar
Israel	Georgia	Rwanda	Nicaragua
Luxembourg	Grenada	Senegal	Norway
Malta	Guyana	Sierra Leone	Papua New Guinea
Netherlands	Malaysia		Philippines
New Zealand	Mauritius		Samoa
Oman	Mexico		Sri Lanka
Pakistan	Panama		Sudan
Portugal	Paraguay		Tonga
Saudi Arabia	Peru		Tunisia
Seychelles	St. Lucia		Vanuatu
Singapore	St. Vincent and the Grenadines		Vietnam
Spain	Suriname		
St. Kitts and Nevis	Swaziland		
Sweden	Thailand		
Switzerland	Turkey		
Trinidad and Tobago	Venezuela, RB		
United Arab Emirates			
United Kingdom			
United States			
Uruguay			

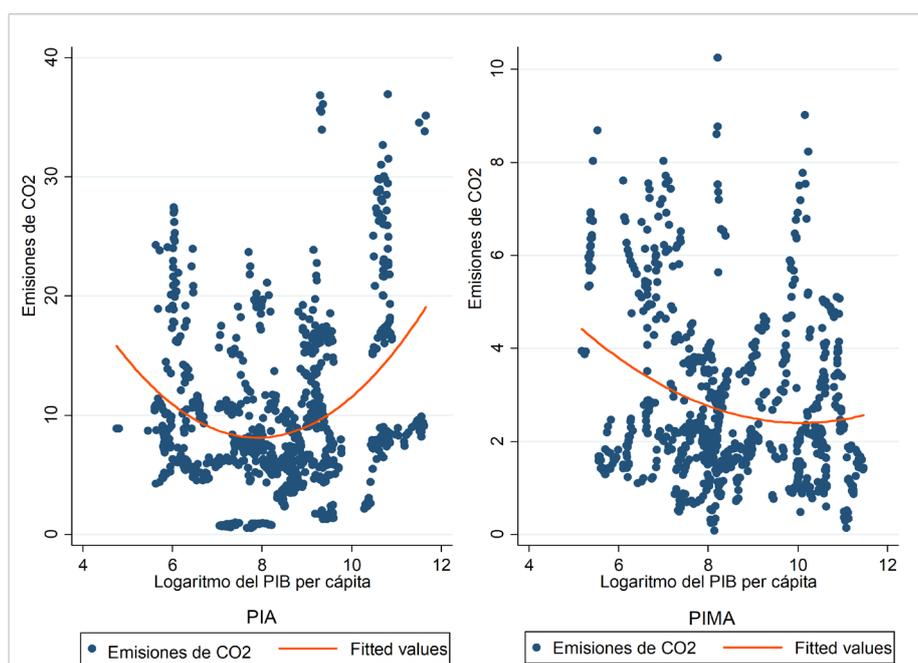
Además, también consideramos visualizar la correlación entre el logaritmo del PIB per cápita y las emisiones de CO2 para los países de ingresos altos y medios altos, como se observa en la Figura 3. Primero para los países de ingresos altos podemos evidenciar una relación casi en forma de una U, en donde los datos se ajustan a la línea de tendencia, y para los países de ingresos medios altos evidenciamos una curva en forma de un poco más abierta, casi negativa, comparada a la anterior, en donde sus datos presentan una relación débil. Así, estos resultados sugieren que las emisiones de CO2 de los grupos de países tienen una moderada asociación, en los dos casos en forma de U, esto efectivamente se contradice con la teoría.

**Figura 2.** Evolución del PIB per cápita y superficie forestal, en economías de bajos ingresos y economías de ingresos medios bajos, 1990-2013



Fuente: Elaboración Propia con datos del Banco Mundial, (2017)

**Figura 3.** Correlación entre las variables del modelo periodo 1990-2013



Fuente: Elaboración Propia con datos del Banco Mundial (2017)

En la Tabla 3 mostramos los principales estadísticos descriptivos de las variables a utilizar y observamos una mayor desviación estándar, en las emisiones de CO<sub>2</sub> y el logaritmo del pib per capitán, en lo que respecta a la variabilidad entre países que dentro de los países (between); es decir algunos países emiten más cantidades de CO<sub>2</sub>, que se traduce en contaminación, y otros emiten menos cantidades CO<sub>2</sub>. En cuanto al PIB per cápita, algunos países tienen altas tasas de crecimiento per cápita y otros experimentan bajas tasas de crecimiento per cápita. En cambio, la superficie forestal tiene una mayor desviación estándar en lo que respecta a la variabilidad dentro de los países

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos de las variables

Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations
Emisiones de CO2	Overall	4.29	5.64	0.011	36.90	N= 2926
	Between		5.48	0.028	25.60	n= 122
	Within		1.39	-5.92	17.37	T= 23.98
Log superficie forestal	Overall	9.94	2.85	0.788	15.51	N= 2904
	Between		2.86	1.25	15.46	n= 121
	Within		0.082	9.33	10.39	T= 24
Log del PIB per cápita	Overall	8.39	1.58	4.74	11.65	N= 2931
	Between		1.41	5.52	11.08	n= 123
	Within		0.7151	3.74	12.70	T= 23.82

El grado de asociación entre las variables es de 0.029 entre CO2 y el logaritmo del PIB per cápita (lpib); y -0.013 entre el logaritmo de la superficie forestal (lsf) y PIB, es decir esta correlación es débil ya que tiende a cero para países de ingresos altos y medios altos, y negativa para países de ingresos bajos y medios bajos.

### 3.2. Metodología

La estrategia aplicada para verificar empíricamente la relación entre crecimiento económico y degradación ambiental se divide en tres etapas. En primer paso, se verifica que las series son no estacionarias por medio del test de Dickey y Fuller (1979) y Phillips y Perron (1988). La Curva Ambiental de Kuznets establece que la relación entre crecimiento económico y la degradación ambiental presenta una forma de U invertida, es así que un mayor nivel de ingreso per cápita corresponde a una disminución en la degradación ambiental, de acuerdo a la siguiente función:

$$Da = f(PIBp) \quad (1)$$

Donde la Da representa la degradación ambiental, en primera instancia será medida a través de las emisiones del dióxido de carbono (CO2), para países de ingresos altos y medios altos; y para países de ingresos bajos y medios bajos, se utilizará la superficie forestal (SF). El símbolo PIBp representa el ingreso per cápita medido a través del PIB per cápita. La función de acuerdo a la teoría presenta una relación en forma de U invertida entre las variables, indicando que bajos niveles de crecimiento están correlacionados con un creciente deterioro en el medio ambiente, pero después de un cierto nivel de ingreso per cápita, la relación entre las dos variables se vuelve negativa.

Con el fin de verificar económicamente la función (1), se plantea un modelo de regresión para países de ingresos altos y medios altos (ecuación 2) y para los países de ingresos bajos y medios bajos (ecuación 3) de la siguiente manera:

$$CO2_{i,t} = (\alpha_0 + \beta_0) + \lambda_1 lpib_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$lsf_{i,t} = (\alpha_0 + \beta_0) + \lambda_1 lpib_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Las ecuaciones (2 y 3) muestran el modelo básico de datos de panel, donde la variable CO2<sub>(i,t)</sub> representa las emisiones de dióxido de carbono en el país i en un tiempo determinado t, β<sub>0</sub> representa el parámetro del espacio, α<sub>0</sub> representa el parámetro del tiempo y la variable lpib<sub>it</sub> representa el PIB per cápita que está medido en escala logarítmica en el país i en un tiempo determinado t. En la ecuación 3, la variable lsf representa el logaritmo de la superficie forestal.

$$\Delta dCO2_{i,t} = \delta_i d_t + \alpha_i dCO2_{it-1} + \lambda_i d2lpib_{it-1} \sum_{j=1}^{Pi} \alpha_{ij} \Delta dCO2_{it-j} + \sum_{j=-qi}^{Pi} dCO2_{ij} \Delta d2lpib_{it-j} + e_{it} \quad (4)$$

La ecuación (4) muestra el modelo de corrección de error para países de ingresos altos y medios altos, en donde  $t=1990-2013$  e  $i=1,2,3,\dots,122$ , indican las series temporales y las unidades transversales respectivamente, mientras que  $dt$  contiene los componentes determinísticos, para los cuales hay tres casos: en el primer caso  $dt=0$  por lo que la ecuación no tiene términos determinísticos; en el segundo caso  $dt=1$  así se genera  $[\Delta y]_{it}$  una constante; y en tercer caso  $dt=(1-t)$  que se genera  $[\Delta y]_{it}$  con una constante y una tendencia. Para simplificar, ajustamos el vector  $k$ -dimensional  $[\Delta x]_{it}$  como aleatorio independiente de  $e_{it}$ , y se asume además que estos errores son independientes a través de  $i,t$ . Para los países de ingresos bajos y medios bajos solo cambia la variable dependiente quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$\Delta d2lsf_{i,t} = \delta_i d_t + \alpha_i d2lsf_{it-1} + \lambda_i d2lpib_{it-1} \sum_{j=1}^{Pi} \alpha_{ij} \Delta d2lsf_{it-j} + \sum_{j=-qt}^{Pi} d2lsf_{ij} \Delta d2lpib_{it-j} + e_{it} \quad (5)$$

#### 4. Discusión de resultados

En la Tabla 4 observamos con coeficientes de las regresiones a nivel global y para cada grupo de países, según su nivel de ingreso, el coeficiente de la variable PIB per cápita resulta estadísticamente no significativa, para 4 de los 6 modelos, en estos modelos el coeficiente no se mantiene estable. Sin embargo, para los países de ingresos medios bajos el coeficiente de la variable pib per cápita resulta estadísticamente significativa con signo negativo a un nivel de significancia de 0.001 es decir que si el PIB per cápita aumenta en 1 % los países de ingresos medios bajos disminuyen su superficie forestal en un 0.016%; a nivel mundial utilizando la superficie forestal el coeficiente de la variable PIB per cápita resulta estadísticamente significativa con signo negativo a un nivel de significancia de 0.05. Por último, la medida de bondad de ajuste nos indica que los datos de los países de ingresos altos y medios altos muestran mayor variabilidad entre países, en cambio los países de ingresos bajos y medios bajos muestran mayor variabilidad dentro de los países.

**Tabla 4.** Crecimiento del PIB per cápita y emisiones de CO2/superficie forestal (efectos aleatorios)

	[PIA]	[PIMA]	[PIB]	[PIMB]	[ALCO2]	[ALlsf]
lpibp (pib per cápita)	0.146 (1.32)	-0.008 (-0.19)	0.005 (1.02)	-0.016*** (-3.69)	0.038 (1.03)	-0.004* (-2.15)
Constant	8.795*** (6.30)	2.875*** (6.21)	10.65*** (24.65)	10.49*** (24.17)	3.975*** (6.78)	9.986*** (38.05)
Observations	911	814	504	696	2925	2903
Adjusted R <sup>2</sup>						
within	0.0015	0.0001	0.0021	0.0200	0.0004	0.0016
between	0.0381	0.0900	0.0006	0.0000	0.0010	0.0002
overall	0.0289	0.0553	0.0004	0.0000	0.0009	0.0002

*t* statistics in parentheses \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

A través de la prueba Breusch y Pagan se evidencia la existencia de Heterocedasticidad con efectos aleatorios; además se aplicó el test de autocorrelación de Wooldridge para datos de panel en donde la probabilidad demuestra la presencia de autocorrelación en el modelo. Posteriormente podemos observar la Tabla 5 de raíces unitarias, se emplean las pruebas para datos de panel desarrolladas por Im, Pesaran y Shin (2003) conocida como la prueba IPS; Levin, Lin y Chu (2002) (LL), Breitung (2000) (UB), Maddala y Wu (1999) (Fisher tipo ADF); y Choi (2001) (Fisher tipo PP). Las pruebas de Maddala y Wu (1999) e Im, Pesaran y Shin (2003) permiten la heterogeneidad entre los individuos de los datos del panel. Las pruebas de raíces unitarias para panel tienen su fundamento en las pruebas desarrolladas para series de tiempo, pero tienen una ventaja sobre estas últimas, y es que al combinar series de tiempo y datos de sección cruzada se obtienen más grados de libertad lo cual mejora las propiedades de los estimadores, y además corrigen la heterogeneidad no observada. El principal propósito de extender la aplicación de las pruebas de raíces unitarias univariadas a las pruebas de raíces

unitarias en panel ha sido el de incrementar el tamaño de la muestra a partir de los datos de sección cruzada para aumentar la potencia de las pruebas (Rodríguez, Perrotini & Venegas-Martínez 2012). Lo antes descrito nos ayuda a comprender los resultados de la Tabla 5, en la que podemos observar que para algunas pruebas se puede rechazar la hipótesis nula de raíz unitaria, sin embargo, se concluye que las series no son estacionarias en niveles, ya que no se rechaza la hipótesis nula en todas las pruebas ni con todas las variables. Es así que se aplica la primera diferencia en el caso de las emisiones de CO2 y segundas diferencias para las variables *lsf* y *lpib*, con el fin de descartar la presencia de más de una raíz unitaria. Se concluye que las series en diferencias son estacionarias, ya que se puede rechazar la hipótesis nula de que existe raíz unitaria. Nuestros resultados son consistentes con los hallazgos de Robledo & Olivares (2013) en Colombia, Indonesia, Vietnam, Egipto, Turquía y Sudáfrica. Una vez aplicadas las pruebas de raíces unitarias, se realizó el test de cointegración de Pedroni (2004) a nivel global y para los países según su nivel de ingreso, podemos observar en la Tabla 6 que a nivel global el estadístico *t.stat* resultó mayor a 2 en términos absolutos para CO2, esto refleja la presencia de cointegración a largo plazo de las variables a nivel global, de la misma forma existe cointegración a largo plazo para los países de ingresos medios bajos. Ocurre lo contrario para los países de ingresos altos, de ingresos medios altos y de ingresos bajos, indicando que no hay cointegración a largo plazo

**Tabla 6.** Test de cointegración de Pedroni

Variable		Mundo CO2	Mundo superficie vegetal	PIA	PIMA	PIB	PIMB
d2lpibp	Beta	-1.76	-.011	-4.39	-.46	.040	.018
	t-stat	3.84	.225	.44	1.76	.48	4.71
Observations							

*t* statistics in parentheses, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

La Tabla 7 muestra el test de corrección de error de Westerlund (2007), el cual se lo aplico para determinar la existencia de cointegración de corto plazo entre las variables de análisis, es así que se puede observar que para cada nivel de ingresos existe significancia estadística en todos los parámetros, a excepción de *Ga* para los PIB; por lo tanto existe un equilibrio a corto plazo entre emisiones de CO2 y pib per cápita para países de ingresos altos y medios altos, y entre superficie forestal y PIB per cápita para países de ingresos bajos y medios bajos, detallado en el P-value siendo estos estadísticamente significativos.

**Tabla 7.** Corrección de error Westerlund

Statistic	PIA			PIMA			PIB			PIMB		
	Value	Z-value	P-value									
Gt	-4.44	-16.02	0.00	-4.57	-16.11	0.00	-3.26	-5.15	0.00	-3.63	-8.55	0.00
Ga	-19.18	-6.74	0.00	-20.17	-7.25	0.00	-10.14	1.20	0.88	-14.47	-2.08	0.019
Pt	-26.90	-16.16	0.00	-19.71	-8.61	0.00	-47.10	-43.5	0.00	-17.02	-6.58	0.00
Pa	-22.83	-14.3	0.00	-19.09	-9.90	0.00	-39.94	-23.7	0.00	-13.49	-4.09	0.00

*t* statistics in parentheses, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

## 5. Conclusión

La evidencia empírica presentada en este trabajo muestra que al considerar una muestra de 122 países en el periodo 1990-2013, mediante un modelo de datos de panel, la relación entre las emisiones de CO2 y el PIB per cápita para países de ingresos altos y medios altos, no se ajusta a la curva ambiental de Kuznets, sin embargo

para los países de ingresos bajos y medios bajos la relación entre la superficie vegetal y PIB per cápita casi se ajusta a la curva ambiental de Kuznets siendo esto más notorio en países de ingreso medios bajos. Es así que, si el PIB per cápita aumenta en los países de ingresos medios bajos, la superficie vegetal disminuye, por ende, las políticas en estos países deben enfocarse en la adecuada explotación de recursos naturales ya que esta debe realizarse con las tecnologías eficientes y no exceder esta extracción de recursos naturales a su conservación. Después de obtener la primera diferencia en el caso de las emisiones de dióxido de carbono y segundas diferencias para el logaritmo de la superficie forestal y el logaritmo del PIB per cápita, para asegurar que la serie es estacionaria, las técnicas de cointegración en este caso Pedroni (2004) indicaron la existencia de cointegración a largo plazo entre la primera diferencia de las emisiones de dióxido de carbono y la segunda diferencia del logaritmo del PIB per cápita a nivel global, de la misma forma existe cointegración a largo plazo para los países de ingresos medios bajos, es decir, entre la segunda diferencia del logaritmo de la superficie forestal y la segunda diferencia del logaritmo del PIB per cápita. El test de corrección de error de Westerlund (2007) muestra la existencia de un equilibrio a corto plazo entre la primera diferencia de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la segunda diferencia del logaritmo del PIB per cápita para países de ingresos altos y medios altos, y entre la segunda diferencia del logaritmo de la superficie forestal y la segunda diferencia del logaritmo del PIB per cápita para países de ingresos bajos y medios bajos.

El problema ambiental no se reduce a la evolución del crecimiento económico (Arrow, et al, 1995) sino que debe considerarse el papel de los mercados, la innovación tecnológica y las regulaciones ambientales. Debe considerarse que las regulaciones ambientales tienden a ser más estrictas en un contexto donde aquellos que son afectados por la degradación ambiental tienen mecanismos claros de defensa y compensación (Torras y Boyce, 1998). Por tanto, no es exclusivamente en los períodos de crecimiento económico en donde las regulaciones ambientales son efectivas, sino que debe considerarse la capacidad institucional de los gobiernos para lograr reducciones significativas en el deterioro ambiental. Stern, Common, & Barbier (1996) concluyeron que se requerirán importantes ajustes de política para mover la economía global hacia un camino de desarrollo sostenible, además no les parece que el enfoque de la CKA tenga mucho que ofrecer en la forma de informar las opciones que surgen para los responsables de la formulación de políticas. Para Roberts, & Grimes (1997) la curva U invertida alcanzó significación estadística a principios de los años setenta y cada vez más desde 1982. Este no es el resultado de grupos de países que pasan por etapas de desarrollo, sino de mejoras en la eficiencia en un pequeño número de países ricos combinados con peores resultados en países pobres y de ingresos medios. Para ellos la relación curvilínea se estaría profundizando y persistiría debido a las limitaciones en los países más pobres de la economía mundial. Sin embargo, Stern (2004) demuestra que el análisis estadístico en el que se basa la curva ambiental de Kuznets no es robusto, hay pocas pruebas de una vía común en forma de U invertida que los países siguen a medida que aumenta su ingreso. Parece poco probable que la CKA sea un modelo adecuado de emisiones o concentraciones.

## Referencias Bibliográficas

- Ahmad, N., Du, L., Lu, J., Wang, J., Li, H. Z., & Hashmi, M. Z. (2017). Modelling the CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Croatia: Is there any environmental Kuznets curve? *Energy*, 123, 164-172.
- Ali, W., Abdullah, A., & Azam, M. (2016). Re-visiting the environmental Kuznets curve hypothesis for Malaysia: Fresh evidence from ARDL bounds testing approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy Policy*, 76, 123-131.
- Alvarado, R., & Toledo, E. (2016). Environmental degradation and economic growth: evidence for a developing country. *Environment, Development and Sustainability*, 1-14
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B.-O. Jansson, S. Levin, K.-G. Maler, C. Perrings y D. Pimentel (1995), "Economic growth, carrying capacity and the environment", *Ecological Economics*, 15(2),

pp. 91-95.

- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... & Pimentel, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological economics*, 15(2), 91-95.
- Boden, TA, G. Marland y RJ Andres. 2017. Emisiones globales, regionales y nacionales de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles. Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, Laboratorio Nacional Oak Ridge, Departamento de Energía de los EE. UU., Oak Ridge, Tennessee, USA doi 10.3334 / CDIAC / 00001\_V2017
- Breitung, J. (2000). The local power of some unit root tests for panel data. En: *Advances in Econometrics*, Vol. 15, pp. 161-177.
- Catalán, H. (2014). Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa*, 389, 19-37.
- Choi, I. (2001). Unit root test for panel data. En: *Journal of International Money y Finance*, Vol 20, pp. 249-272.
- Correa Restrepo, F. J. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*.
- Dickey, d. and Fuller, w. (1979). Distribution of the estimates for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366): 427-431.
- Falconi, F, Burbano, R., & Cango, P. (2016). La discutible curva de Kuznets (No. 2016\_03). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377.
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of econometrics*, 115(1), 53-74.
- IPCC, 2013: “Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*” [Stocker, T.F, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2015). The environmental Kuznets curve, economic growth, renewable and non-renewable energy, and trade in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 173-185.
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of econometrics*, 108(1), 1-24.
- Li, T., Wang, Y., & Zhao, D. (2016). Environmental Kuznets Curve in China: New evidence from dynamic panel analysis. *Energy Policy*, 91, 138-147.
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 631-652.
- Mrabet, Z., & Alsamara, M. (2016). Testing the Kuznets Curve hypothesis for Qatar: A comparison between carbon dioxide and ecological footprint. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Onater-Isberk, E. (2016). Environmental Kuznets curve under noncarbohydrate energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 338-347.

- Parrilla, J. C. (2009). Curva de Kuznets ambiental: Evidencia para Europa (No. 2009/3). Centre de Recerca Econòmica (UIB "Sa Nostra").
- Pedroni, P. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic And Finite Sample Properties Of Pooled Time Series Tests With An Application To The PPP Hypothesis, *Econometric Theory*. Vol. 20, No. 3, pp. 597-625.
- Roberts, J. T., & Grimes, P. E. (1997). Carbon intensity and economic development 1962–1991: A brief exploration of the environmental Kuznets curve. *World development*, 25(2), 191-198.
- Robledo, J. C., & Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de co2, el consumo de energía y el pib: el caso de los civets. *Semestre Económico Universidad de Medellín*, 16(33), 45-65.
- Rodríguez Benavides, D., Perrotini Hernández, I., & Venegas-Martínez, F. (2012). La hipótesis de convergencia en América Latina: Un análisis de cointegración en panel. *EconoQuantum*, 9(2), 99-122.
- Shahbaz, M., Khraief, N., Uddin, G. S., & Ozturk, I. (2014). Environmental Kuznets curve in an open economy: A bounds testing and causality analysis for Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 325-336.
- Shahbaz, M., Solarin, S. A., & Ozturk, I. (2016). Environmental Kuznets Curve hypothesis and the role of globalization in selected African countries. *Ecological Indicators*, 67, 623-636.
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439.
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World development*, 24(7), 1151-1160.
- Stocker, et.al (2013): Resumen técnico. En: Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Sugiawan, Y., & Managi, S. (2016). The environmental Kuznets curve in Indonesia: Exploring the potential of renewable energy. *Energy Policy*, 98, 187-198.
- Torras, M. y J.K. Boyce (1998), "Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics*, 25, 147-160.
- Westerlund, j. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6):709-748.
- Zilio, M. I. (2012). Curva de Kuznets ambiental: La validez de sus fundamentos en países en desarrollo. *Cuadernos de Economía*, 35(97), 43-54.