



Universidad Veracruzana

Facultad de Economía

**“La Curva de Kuznets Ambiental  
para los países de la OCDE a través  
de un modelo de datos panel”**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de

**Maestra en Economía Ambiental y Ecológica**

presenta

**María del Pilar Parra Ocampo**

**Dr. Edgar Juan Saucedo Acosta**

Director de Tesis

**Dr. Rogelio Rendón Hernández**

**Dr. Raúl E. Molina**

**Mtro. Marco A. Mendez**

Lectores

Xalapa, Ver., a 8 de junio de 2016

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a Dios porque en este camino todas las personas que me rodean suman a mi vida. Personas como Cami, quien es mi mayor motivo; mi madre, a quien todo le debo y de quien he aprendido todo lo bueno que yo sé; mi padre, quien ha sido mi ejemplo de trabajo imparable; Hugo Miguel, quien me inspira para ser lo mejor que yo puedo ser; mis hermanos y toda mi familia por su confianza, apoyo y comprensión.*

*Gracias al Dr. Edgar J. Saucedo, porque no habría podido tener un mejor guía, especialmente gracias por el privilegio de trabajar con la mente brillante del Dr. Jesús Díaz Pedroza; a la Mtra. Katia Romero León quien se esmera para facilitarnos la estancia en la Maestría. Al Dr. Rogelio Rendón, Mtro. Marco A. Méndez y Dr. Raúl E. Molina, quienes tuvieron la paciencia de leerme, escucharme y aportar con el fin de lograr mejores resultados. A todos mis profesores de la maestría de quienes tanto he recibido.*

## Contenido

1. Introducción .....	6
1.1. Ciclo del Carbono .....	6
1.1.1. El cambio climático .....	7
1.1.2. Las emisiones de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	8
1.2. La OCDE .....	9
2. Marco Teórico .....	12
2.1. Relación Crecimiento Económico y Calidad Ambiental .....	13
2.1.1. El efecto composición .....	14
2.1.2. El efecto desplazamiento .....	14
2.1.3. El efecto tecnológico .....	14
2.2. Críticas a la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) .....	16
2.2.1. Crítica al efecto composición .....	16
2.2.2. Crítica al efecto desplazamiento .....	16
2.2.3. Crítica al efecto tecnológico .....	16
2.2.4. Algunas otras críticas .....	17
2.3. Estudios Recientes sobre la CKA .....	22
3. Metodología .....	29
3.1. Datos .....	32
3.1.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	33
3.1.2. PIB per cápita .....	33
3.1.3. Consumo de energía eléctrica .....	34
3.1.4. Consumo de energía proveniente de combustibles fósiles .....	35
3.1.5. Ingresos por impuestos ambientales .....	35
3.1.6. Importaciones/Exportaciones como porcentaje del PIB .....	36
3.2. Resultados .....	37
3.3. Propuesta .....	43
3.4. Discusión: Comparación con estudios previos .....	47
Conclusiones .....	58
Referencias .....	54

## **María del Pilar Parra Ocampo**

Universidad Veracruzana

Maestría en Economía Ambiental, Facultad de Economía, México

e-mail: pialr.parra.ocampo@hotmail.com

# **LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA LOS PAÍSES DE LA OCDE A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS DE DATOS PANEL**

Clasificación JEL: Q50, Q53, Q42, C23,

***Palabras clave: Emisiones CO<sub>2</sub>, OCDE, Curva de Kuznets Ambiental.***

### ***Resumen***

*Este estudio explora el efecto del crecimiento económico medido a través del PIB per cápita, el consumo de energía eléctrica, el porcentaje de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles, las exportaciones, importaciones y los impuestos relacionados con el ambiente en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los 34 países que constituyen la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE); con el objetivo de comprobar la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Para lograrlo se constituyó un panel de datos para el periodo 1995-2011. Se crearon dos modelos dinámicos, el primero, utilizando la hipótesis convencional de la CKA; y el segundo con una CKA ampliada. Los resultados revelan que para los países de la OCDE se cumple la hipótesis de la CKA, es decir, que existe un cierto nivel de ingresos a partir del cual los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> tienden a disminuir. Se encontró que la aplicación de impuestos ambientales y el uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica pueden ayudar de manera significativa a la disminución de este gas de efecto invernadero. Las exportaciones resultaron no ser estadísticamente significativas para el incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, probablemente como consecuencia de regulaciones ambientales más estrictas que inducen a los productores a innovar, mejorar su desempeño económico y su ecoeficiencia.*

## **María del Pilar Parra Ocampo**

Universidad Veracruzana

Maestría en Economía Ambiental, Facultad de Economía, México

e-mail: pialr.parra.ocampo@hotmail.com

# **ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE FOR OECD COUNTRIES THROUGH PANEL DATA ANALYSIS**

Clasificación JEL: Q50, Q53, Q42, C23,

***Keywords: CO2 emissions, OECD, Environmental Kuznets Curve.***

### ***Abstract***

*This study explores the effect of economic growth measured by per capita GDP, electricity consumption, percentage of electricity from fossil fuels, exports, imports and environment related taxes on carbon dioxide emissions (CO<sub>2</sub>) in the 34 Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) countries; in order to test the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. To achieve a panel data for the period 1995-2011 was established. Two dynamic models, the first created, using the conventional hypothesis of EKC; and the second with an enlarged EKC. The results show that, for OECD countries, EKC hypothesis, that there is a certain level of income at which the CO<sub>2</sub> emission levels tend to decrease fulfilled. It was found that the application of environmental taxes and the use of renewable energy for power generation can help significantly to reducing greenhouse gas this way. Exports were not statistically significant for the increase in CO<sub>2</sub> emissions, probably due to stricter environmental regulations that induce producers to innovate, improve their economic performance and eco-efficiency.*

# **1. INTRODUCCION**

El crecimiento económico mundial en los últimos años ha implicado la generación de contaminantes del aire provocados por actividades antropogénicas como la producción de electricidad y el uso de vehículos de motor. Como consecuencia de la expansión de la actividad económica, las emisiones de contaminantes tienden a crecer. La sociedad tiende a demandar un entorno más saludable y sustentable conforme incrementan sus niveles de ingreso; estas aspiraciones se pueden alcanzar si existen mejoras tecnológicas o si los gobiernos imponen controles ambientales más estrictos. Se han realizado diversas investigaciones en torno a la explicación de la relación entre el nivel de ingresos y la concentración de diversos contaminantes. La Curva de Kuznets Ambiental (CKA) se basa en la hipótesis de que en las primeras etapas de crecimiento económico de un país, tiende a contaminar más, hasta alcanzar un punto de inflexión en el que la degradación ambiental comienza a disminuir. La presente documento estudia, a través de la CKA, la relación entre emisiones de CO<sub>2</sub> y crecimiento económico para los países de la OCDE.

En el primer capítulo de este trabajo se expone el contexto en que se desarrolla la investigación así como su justificación. El segundo capítulo está conformada por el marco teórico, en el cual se expone la hipótesis original de Kuznets y su aplicación para cuestiones ambientales, específicamente la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental. Se explica de manera detallada el sustento teórico de la CKA y además se expone la crítica a la existencia de la CKA.

Dentro de este mismo capítulo se resumen los estudios recientes relacionados con la comprobación de la hipótesis de la CKA con sus respectivos resultados, aportaciones y recomendaciones.

El tercer capítulo del trabajo comprende la metodología aplicada, se describen los datos utilizados y los resultados obtenidos. De igual manera se expone la propuesta de este trabajo al incorporar otras variables explicativas al fenómeno y se detallan los resultados obtenidos de esta propuesta. Se dedica un apartado de este tercer capítulo a una comparación del presente trabajo de investigación con otros estudios revisados. Finalmente se exponen las conclusiones obtenidas.

## **1.1. El Ciclo del Carbono**

La atmósfera terrestre está compuesta por una combinación de gases y elementos químicos, entre ellos se encuentran el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el nitrógeno (N) y el oxígeno (O) en tales proporciones que permiten la vida en el planeta, pues cumple con la función de proteger de los rayos directos del sol hacia la superficie. El CO<sub>2</sub> es el gas que tiene mayor participación en el efecto invernadero, el cual se describe más adelante.

En condiciones normales, el 100% de los rayos del sol rebotan hacia el universo de tal manera que existe un equilibrio; bajo estas condiciones, mediante la fotosíntesis, las plantas transforman el CO<sub>2</sub> atmosférico, o del agua, en materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), de la que se alimentan los seres vivos a través de las cadenas alimentarias, donde se convierte en parte del cuerpo de estos seres vivos.

Luego el carbono es devuelto al ambiente a través del proceso de respiración, mediante el cual los animales y las plantas consumen materia orgánica y devuelven el CO<sub>2</sub> a la atmósfera o al agua. También puede ser devuelto mediante procesos de combustión. El carbono es incorporado a la atmósfera mediante la combustión que se genera en los incendios forestales, la actividad volcánica y el uso de petróleo, gas natural o carbón, en actividades industriales, de transporte y domésticas (González, 2014).

Otra forma en que el carbono es devuelto al ambiente es mediante el proceso de descomposición de la materia orgánica; los restos de los animales y vegetales son descompuestos por las bacterias (González, 2014). En este proceso, se libera el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, donde es utilizado nuevamente por las plantas; iniciando así un ciclo más; sin embargo, condiciones de desequilibrio en este balance de entrada y salida de energía producen cambios en la temperatura del planeta, pues se libera más CO<sub>2</sub> del que puede liberar la atmósfera, conformando lo que se conoce como calentamiento global.

### **1.1.1. El Cambio Climático**

El cambio climático es “un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima, las causas pueden ser naturales, como por ejemplo, variaciones en la energía proveniente del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos y otros, o puede ser causada por influencia antrópica (por las actividades humanas), como por ejemplo, a través de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que atrapan calor, o de la alteración del uso de grandes extensiones de suelos que causan finalmente, un calentamiento global” (Cambio Climático Global, 2014).

Sin duda, las actividades antropogénicas son la causa principal del calentamiento global. Los combustibles fósiles son utilizados para producir energía eléctrica y térmica; el uso indiscriminado de éstos productos generan contaminantes perjudiciales para la salud y su combustión, extracción, elaboración y transporte generan gases a la atmósfera que provocan el efecto invernadero (UNED, 2013).

El CO<sub>2</sub> es el mayor contaminante y productor del efecto invernadero, el cual es un fenómeno por el cual los “gases que se encuentran en la atmósfera retienen el calor emitido por la tierra. Este calor proviene de la radiación solar, pero cuando rebota sobre la superficie terrestre queda atrapado por la barrera de gases” (InspiraAction, 2013). Este efecto invernadero es la causa principal del calentamiento global.

Como se ha mencionado, el CO<sub>2</sub> es un gas de origen natural generado por la materia orgánica. Se produce a partir de la quema de combustibles fósiles y de biomasa, también se emite desde los cambios de uso del suelo y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta el balance radiactivo de la Tierra, es el gas de referencia contra el cual otros gases de efecto invernadero se miden (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2008).

La quema de combustibles a base de carbono desde la revolución industrial ha producido que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenten rápidamente, lo que aumenta la tasa de calentamiento global y el cambio climático. También es una fuente importante de la acidificación del océano, ya que se disuelve en agua para formar ácido carbónico. La adición de gases de efecto invernadero de origen humano a la atmósfera perturba el equilibrio de la Tierra (GreenFacts, 2007). Esto está dando lugar a un aumento de la temperatura de la superficie de la tierra y de los efectos relacionados en el clima, aumento del nivel del mar y afectaciones a la agricultura a nivel mundial.

### **1.1.2. Las Emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de la quema de petróleo, carbón y gas para el uso de la energía, la quema de madera y materiales de desecho, y de los procesos industriales, como la producción de cemento. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de un país sólo son un indicador de un gas de efecto invernadero. Para obtener una idea más completa de cómo un país influye en el cambio climático, se deben tener en cuenta las emisiones de gases como el metano y el óxido nitroso. Esto es particularmente importante en las economías agrícolas. La intensidad de emisión es la tasa promedio de emisión de un contaminante determinado a partir de una fuente determinada en relación con la intensidad de una actividad específica. Estas intensidades de emisión también se utilizan para comparar el impacto ambiental de los diferentes combustibles o actividades (Banco Mundial, 2015).

Los efectos ambientales de dióxido de carbono son de gran interés a causa del impacto global que generan. La conversión de todos los demás gases de efecto invernadero (metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)) en el equivalente a CO<sub>2</sub> permite compararlos y determinar sus contribuciones individuales y totales al calentamiento global (Banco Mundial, 2015).

Las principales consecuencias del efecto invernadero alrededor del mundo son la deforestación, desertización, inundaciones, huracanes, tifones, sequía, el derretimiento de los casquetes polares, entre otros. En el contexto global se han desarrollado distintas iniciativas encaminadas a prevenir o aminorar los efectos producidos por el cambio climático.

El Protocolo de Kyoto, un acuerdo ambiental adoptado en 1997, es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio



Climático (CMNUCC), que está trabajando para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial.

Los científicos afirman que el calentamiento global es consecuencia del exceso de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, proveniente principalmente de la quema de combustibles fósiles (Martínez & Fernández, 2004).

La actividad económica en el mundo a partir de la revolución industrial se ha incrementado de tal manera que ha requerido enormes cantidades de petróleo y la combustión de este a partir de lo que se produce mayor cantidad de dióxido de carbono.

## **1.2. La OCDE**

El presente estudio se realiza para los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que agrupa a 34 países enlistados en párrafos posteriores. Es una organización internacional intergubernamental que reúne a los países más industrializados de economía de mercado. Los representantes de los países miembros se reúnen para intercambiar información y armonizar políticas con el objetivo de maximizar su crecimiento económico y coadyuvar a su desarrollo y al de los países no miembros (INE, 2014).

La OCDE ofrece un foro donde los gobiernos puedan trabajar conjuntamente para compartir experiencias y buscar soluciones a los problemas comunes (OCDE, 2015). Trabaja para entender qué es lo que conduce al cambio económico, social y ambiental. Mide la productividad y los flujos globales del comercio e inversión. Analiza y compara datos para realizar pronósticos de tendencias. Fija estándares internacionales dentro de un amplio rango de temas de políticas públicas.

Los países que integran a esta organización son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Corea, Dinamarca, España, Estados Unidos, Eslovenia, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza y Turquía (Banco Mundial, 2015).



actualidad. Sin embargo, la reducción no estabilizó las emisiones mundiales ya que se incrementaron las emisiones de los países en desarrollo (OECD, 2009)

Por lo tanto, se puede resumir que, el propósito de este trabajo de investigación es comprobar si la hipótesis de la CKA se cumple para los países de la OCDE. Esto se analizará a través del análisis de datos panel y además se propondrán distintas variables en el modelo que sean significativas para la explicación del comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para cumplir con dicho objetivo es necesario conocer detalladamente la teoría que respalda a la CKA así como los estudios previos que se han realizado en torno a esta área del conocimiento y al uso de esta metodología.

## 2. MARCO TEÓRICO

Se han realizado investigaciones alrededor del mundo a cerca de la relación existente entre los indicadores de calidad ambiental y el crecimiento económico, concluyendo sobre la base de una estimación econométrica que en algunos casos existe una relación entre estas variables en forma de U invertida a la que se le ha llamado Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Esta forma de U invertida significa que en las primeras etapas del desarrollo de un país se producen pérdidas en términos de calidad ambiental que eran compensados con las ganancias que aparecían una vez que se supera cierto nivel de ingreso per cápita.

El Premio Nobel de Economía Simón Kuznets (1955) formuló una teoría que explica la evolución de la distribución del ingreso en los países con el argumento de que al inicio del proceso de desarrollo las economías presentan una distribución del ingreso de manera equitativa y conforme el proceso transcurre, la relación entre equidad en la distribución y el ingreso comienza a deteriorarse hasta alcanzar un nivel máximo, punto a partir del cual el nivel de equidad comienza a mejorar conforme aumenta el ingreso. La relación cambiante entre ingreso per cápita y desigualdad del ingreso puede representarse con una curva en forma de U invertida, conocida como Curva de Kuznets.

Por otra parte, la relación que existe entre el crecimiento económico y la contaminación atmosférica es compleja y ha sido estudiada a partir de 1990; la explicación a esta relación se vio influenciada en gran medida por la hipótesis de la CKA y se comienzan a obtener evidencias de que el nivel de contaminación ambiental muestra un comportamiento en forma de U invertida similar a la curva de Kuznets.

La hipótesis de la CKA sostiene que la contaminación ambiental aumenta con el crecimiento económico hasta cierto nivel de ingreso, después del cual, empieza a decrecer y que un país contamina más en las primeras etapas del proceso de desarrollo pero gracias al mismo, y a la riqueza obtenida en las últimas etapas de este proceso, este país estaría en condiciones de invertir en la mejora ambiental, es decir, la protección del ambiente sería un bien de lujo (con una elasticidad ingreso mayor a uno), y por lo tanto, el mejor procedimiento para la protección del ambiente sería el crecimiento económico que permita alcanzar el punto de inflexión de la curva de degradación ambiental (Quishpe Sinailin, 2005).

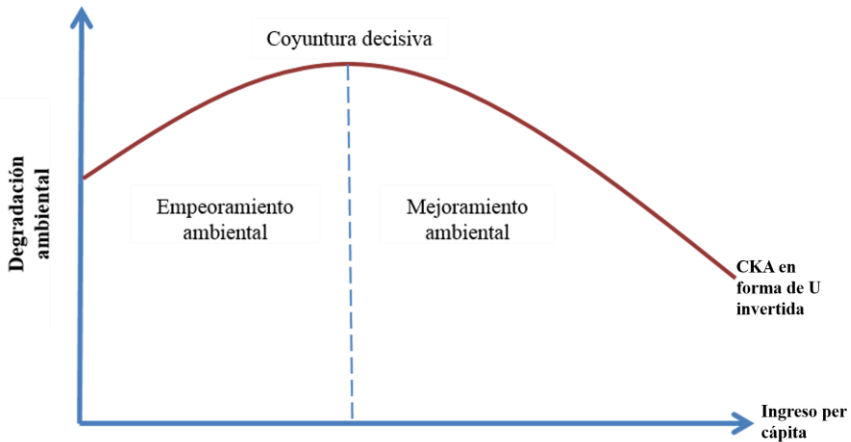


Figura 2.1. Curva de Kuznets Ambiental

Fuente: elaboración con base en Roca y Padilla (2003).

Si bien en las primeras fases de crecimiento económico la degradación ambiental es una consecuencia inevitable del crecimiento, una vez superado un determinado nivel de ingreso per cápita, el crecimiento económico deja de ser la causa y se convierte en la solución de la degradación ambiental (Grossman & Krueger, 1995), en este caso se trata de la solución de la contaminación atmosférica.

## 2.1. Relación Crecimiento Económico y Calidad Ambiental

Existen algunos argumentos desde la perspectiva económica para la relación entre crecimiento económico y calidad ambiental:

El crecimiento económico promueve la disminución de la calidad ambiental, el aumento de las emisiones contaminantes y el crecimiento tiene una relación monótonicamente creciente. Georgescu-Roegen (1971) afirma que para tener altos niveles de actividad económica es necesario tener grandes inventarios de insumos energéticos y materiales, los cuales generarán enormes cantidades de desperdicios. Por lo tanto, el aumento en la extracción de recursos naturales, la acumulación de desperdicios y la concentración de contaminantes, disminuirá la capacidad de la biósfera y degradarán la calidad ambiental.

Al incrementar la actividad económica aumenta la calidad ambiental. Beckerman (1992) afirma que existe una gran correlación entre el ingreso y la adopción de medidas proteccionistas al ambiente, demostrando que en el largo plazo seguramente el camino para mejorar la calidad ambiental es ser un país rico. Los altos ingresos permiten una demanda creciente de bienes y servicios menos intensivos en producción, al mismo tiempo que se demanda mayor calidad ambiental, permitiendo adoptar medidas de protección ambiental.

La relación a largo plazo entre las actividades económicas y la calidad en el ambiente no es fija. El signo de la relación cambia de positivo a negativo como respuesta a un incremento en el nivel de ingreso con el cual los individuos demandan mayor eficiencia y un medio ambiente limpio. Esto implica la relación de U invertida entre la degradación ambiental y el crecimiento de las actividades económicas.

La existencia de una relación en forma de U invertida entre la degradación ambiental y el crecimiento del ingreso ha sido con fundamento en tres efectos y la integración entre ellos, que son:

### **2.1.1. El Efecto Composición**

A partir del patrón de crecimiento observado en economías conocidas en la actualidad como “desarrolladas”, como Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Francia, etc., al inicio el sector agrícola tuvo una posición prioritaria en la producción y conforme los países avanzaron hacia un desarrollo mayor, fue tomando mayor importancia el sector industrial. Una vez alcanzado un alto nivel de industrialización, los países tienden a orientar sus economías hacia los servicios y por lo tanto tienen a adquirir los bienes manufacturados provenientes de países en vías de desarrollo o de creciente industrialización. Esta situación implica que el desplazamiento que hace el sector servicios al industrial en las economías desarrolladas es “sinónimo” de una menor emisión de contaminantes, puesto que las actividades por excelencia intensivas en consumo de energía y emisiones tóxicas son las industriales (Rothman & De Bruyn, 1998).

El efecto composición o reacomodo de los sectores en la formación del producto interno bruto (PIB), ha sido observado en economías con un alto nivel de desarrollo y es seguido por una reducción en las emisiones de contaminantes industriales y del consumo de energía para tales fines, lo que lleva a algunos a suponer la validez de la hipótesis de la CKA (Rothman & De Bruyn, 1998).

### **2.1.2. El Efecto Desplazamiento**

El proceso de globalización interacciona con el incremento del flujo internacional de mercancías y se basa en el incremento de la división del trabajo a nivel internacional. Esta tendencia permite que los países en vías de desarrollo aumenten sus niveles de exportación de bienes manufacturados hacia los países desarrollados; mientras que éstos se especializan en la exportación de servicios. Lo que contribuye a la disminución de la emisión de algunos contaminantes en los países desarrollados (Gitli & Hernández, 2002).

### **2.1.3. El Efecto Tecnológico**

Este efecto puede reducir la presión sobre el ambiente a través de diferentes formas; incrementando la eficiencia en los procesos productivos, lo cual conduce a reducir la cantidad de insumos requeridos para producir la misma o mayor cantidad de bienes; el progreso tecnológico aumenta la capacidad de sustitución de los recursos altamente contaminantes o degradantes del medio por

otros más amigables; y finalmente, la transferencia tecnológica realizada por los países en vías de desarrollo ocasiona que ahora sus patrones de crecimiento generen menores impactos ambientales negativos (Gitli & Hernández , 2002).

Existe evidencia empírica de que algunos problemas ambientales han disminuido en los países ricos. Existen investigaciones en las cuales aparece como evidencia inequívoca de una relación en forma de CKA, asegurando que la mayoría de la población mundial aún se encuentra en la sección de la curva que va en aumento, por lo que el crecimiento de los ingresos se traducirá en un daño ambiental aun mayor y que el deterioro ambiental va en declive para los países más ricos (Ekins, 2000).

La lógica económica que explica la CKA sugiere que la sociedad poco desarrollada tiende a industrializarse con costos sociales muy altos; durante la primera etapa de la industrialización, la contaminación del medio ambiente aumenta porque las personas están más interesadas en conseguir trabajos y obtener un ingreso en lugar de aire limpio y agua pura (Dasgupta, Laplante, Wang, & Wheeler, 2002).

Ocurre que las comunidades son demasiado pobres para poder subsistir adecuadamente, por lo que el marco regulatorio del medio ambiente es olvidado. Las industrias líderes suelen adquirir nuevas tecnologías, los individuos van valorando más al medio ambiente y las instituciones regulatorias comienzan a incluir el cuidado del medio ambiente en su agenda. Cuando estas circunstancias se cumplen, la contaminación tiende a disminuir.

El grado en que la relación en forma de U invertida también se puede explicar a través del comercio exterior y, específicamente, de la migración o el desplazamiento de las industrias más contaminantes de los países desarrollados a aquellos que están en vías de desarrollo (Cole, 2004).

Grossman y Krueger (1991) desde la perspectiva del comercio internacional, estudiaron la forma en que se afectaría al medio ambiente a través de la ampliación de la escala de la actividad económica, mediante la alteración de la composición de la actividad económica, y por lograr el cambio en las técnicas de producción, específicamente para el caso de México. Encontraron que la relación que existe entre la calidad del aire y el crecimiento económico aumenta con niveles bajos de PIB per cápita, mientras que disminuyen con el crecimiento de los niveles de ingresos del grupo de personas establecidos en un país que tenga los ingresos más altos.

La relación entre el desarrollo económico y la calidad ambiental que algunos resultados indican mejora con el aumento de los ingresos, como el agua y saneamiento; mientras que otros empeoran y luego mejoran, como las partículas y los óxidos de azufre; e incluso otros empeoran de manera constante como el oxígeno disuelto en los ríos, los residuos municipales y las emisiones de carbono. Así mismo, afirma que el crecimiento tiende a asociarse con mejoras ambientales en los que hay costos locales generalizados y beneficios sustanciales; mientras que

en lugares donde los costos de la degradación ambiental son asumidos por terceros, como otros países o los pobres, hay muy pocos incentivos para alterar el comportamiento perjudicial (Shakif, 1994).

Grossman y Krueger (1995) no encontraron evidencia de que el crecimiento económico hace un daño inevitable al hábitat natural. Sin embargo, encontraron que los incrementos del PIB pueden estar asociados con el empeoramiento de las condiciones ambientales en países muy pobres, el aire y la calidad del agua parecen beneficiarse del crecimiento económico una vez que se ha alcanzado un nivel crítico de ingresos. El punto de inflexión de la relación en forma de U invertida varía para los distintos contaminantes, pero la mayoría de los casos ocurre cuando el ingreso es de al menos \$8,000 (Dólares de 1985); de acuerdo al estudio que realizaron en la calidad del aire de diferentes ciudades de países desarrollados y en vías de desarrollo con información del Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS, por sus siglas en inglés).

No hay razón para creer que la relación entre el crecimiento económico y la mejora en las condiciones medioambientales resulta de forma automática. Primero, porque la calidad del medio ambiente podría mejorar de forma automática cuando los países se desarrollan si sustituyen las tecnologías “sucias” por unas más limpias, o si hay un efecto muy marcado sobre la contaminación de los patrones típicos de la transformación estructural.

Segundo, porque pueden surgir relaciones inversas y patrones en forma de U invertida, ya que, como se desarrollan los países, dejan de producir determinados bienes altamente contaminantes y comienzan a importar estos productos de otros países que tienen leyes de protección al ambiente más laxas (Grossman & Krueger, 1995).

## **2.2. Críticas a la Existencia de la CKA**

A continuación se presentan diversas críticas que cuestionan la existencia de la CKA.

### **2.2.1. Crítica al Efecto Composición**

A pesar de que se considera que el proceso de transición de una economía agrícola a una industrial es replicable (Rothman & De Bruyn, 1998), existe un gran número de economías de ingreso bajo y medio con alto porcentaje de su producción conformada por el sector de servicios, lo que implica que puede construir un indicador de desarrollo económico que no pasa por la industrialización convencional o incluso puede tratarse de un indicador de subdesarrollo.

Además, algunas actividades englobadas en los servicios pueden generar tanta o más presión ambiental (directa o indirecta) que otras integradas en el sector industrial, por ejemplo el transporte aéreo y el turismo masivo (Roca, Padilla, Farre, & Galetto, 2001).



### **2.2.2. Crítica al Efecto Desplazamiento**

Diversos estudios han encontrado que la reducción en los niveles de contaminación de los países desarrollados está asociada a un aumento de las emisiones de contaminantes en los países en desarrollo. Algunos estudios han revelado que países asiáticos en desarrollo desplazaron a las economías de la OCDE como los mayores generadores mundiales de contaminación hídrica industrial (Angulo Guerrero, 2010). Low y Yeats (1992) muestran que las industrias intensivas en contaminantes suman un creciente porcentaje de las exportaciones de algunos países en desarrollo mientras que en los países desarrollados este porcentaje es decreciente.

Existen muchas críticas en torno a la validez del efecto desplazamiento (Suri & Chapman, 1998). El argumento central es que el desplazamiento de actividades contaminantes hacia otros países generalmente menos desarrollados o con menores regulaciones ambientales no justifica la veracidad de la hipótesis de la CKA, pues la contaminación ambiental no está disminuyendo, tan sólo se está trasladando. Tampoco se puede afirmar que la exportación de actividades contaminantes garantiza su eliminación o al menos la eliminación de sus productos indeseables a largo plazo, pues en la medida en que los países en desarrollo avancen necesitarán de países menos adelantados hacia los cuales trasladar sus actividades industriales y particularmente las más contaminantes.

A raíz de las críticas suscitadas, algunos sugieren utilizar el consumo en lugar de la producción como un mejor indicador del impacto ambiental (Alier & Roca, 2000).

### **2.2.3. Crítica al Efecto Tecnológico**

El progreso tecnológico ha hecho suponer a algunos que la CKA así como su punto máximo será menor para los países en vías de desarrollo que para los desarrollados en iguales niveles de ingreso, es decir, que para los primeros la forma de la curva se reproduciría a menores niveles de deterioro ambiental (Banco Mundial, 1992). Sin embargo, esto no puede ser del todo acertado pues existe gran cantidad de empresas que buscan entrar a los países en vías de desarrollo para aprovechar las barreras ambientales inferiores (Gitli & Hernández, 2002) pues normalmente la inversión en estos países por parte de una empresa transnacional proveniente de un país industrial trae consigo tecnología ambiental superior; sin embargo, si este desplazamiento trae cambios en la composición de la economía, la situación se vuelve más compleja, y lo único que se está logrando es exportar la contaminación de los países desarrollados hacia los países en vías de desarrollo.

### **2.2.4. Algunas Otras Críticas**

En realidad no se ha identificado aún el nivel de ingreso per cápita a partir del cual los consumidores están dispuestos a pagar por bienes y servicios amigables con el medio ambiente. Los estudios realizados no son concluyentes (Pereyra, 1996).

Algunos consideran que en muchas ocasiones es posible demostrar que son las familias más pobres y no las ricas las que tienen una mayor demanda por el ambiente limpio, pues son las que dependen directamente del ambiente y lo protegen cuando es degradado, no necesitan volverse ricas para adquirir sensibilidad ambiental (Ekins, 2000). Mientras que el incremento en el ingreso per cápita supone mayor capacidad de consumo, que puede traducirse en mayor presión ambiental (Del Rio, 2000).

La hipótesis de la existencia de la CKA ha llevado a pensar que el crecimiento económico es por sí mismo la solución de los problemas ambientales ya que la mejora del medio ambiente será una consecuencia “inevitable” del crecimiento económico. Sin embargo, el análisis de la relación que existe entre las variables que conforman a la CKA arroja conclusiones muy diferentes.

Por otra parte, Beckerman (1992) encontró que la pérdida de bienestar de la población en los países en desarrollo hoy en día es el resultado de la falta de acceso al agua potable y el saneamiento, o de la contaminación del aire urbano, es mucho mayor y se debe dar prioridad sobre los intereses de las generaciones futuras.

Gitli y Hernández (2002) afirman que la evidencia sobre la existencia de la CKA es contradictoria; los modelos econométricos son altamente sensibles a cambios en su especificación o su información básica; y que los ingresos a los que las emisiones empiezan a disminuir están aún lejos del alcance de gran parte de la población del mundo en desarrollo.

En los casos en los que es muy posible que exista una relación de U invertida entre el ingreso y algún indicador ambiental, los ingresos límite necesarios para alcanzar los beneficios ambientales de la opulencia están lejos del alcance inmediato de la mayor parte de los habitantes del mundo. Por lo tanto, es posible que la mejor solución sea introducir mejoras ambientales a través de legislaciones y acuerdos internacionales desde ahora, antes de que sea demasiado tarde para algunas especies o ya no quede ambiente que proteger. El crecimiento no genera por sí solo bienestar ambiental o desarrollo sostenible. “La apertura comercial por sí sola no trae consigo al crecimiento. Hay países que han tenido un éxito notable, incluso con aperturas unilaterales no negociadas y otros en los que la apertura por sí sola no trajo consigo al crecimiento acelerado que se esperaba” (Gitli & Hernández , 2002, pág. 24).

El deterioro ambiental generalizado de nuestros tiempos demanda acciones fuertes y concretas; no hay elementos para asegurar que la demandad interna por mejoras ambientales generalizables lleve al cambio sustancial, más que en aquellas variables que han sido definidas como críticas (emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y la lluvia ácida) (Gitli & Hernández , 2002).

“Dado que no existe la evidencia clara de la existencia de la CKA, resulta necesario considerar el papel de la temática ambiental dentro de las negociaciones comerciales, y de esta forma atacar la tendencia creciente de la contaminación en

los países del sur. El apoyo decidido de los países del Norte mediante programas de cooperación, pareciera fundamental para lograr el objetivo de un desarrollo sostenible” (Gitli & Hernández , 2002, Pág. 2). La presencia de negociaciones comerciales debe darse mediante programas de cooperación específicos entre países, y no como una nueva barrera de entrada de los productos extranjeros.

Díaz (2009) a través del análisis econométrico que realizó, deduce que la senda descendente de las emisiones que se observa en algunas muestras y países no puede ser explicada por factores asociados al ingreso per cápita sino que la explicación residiría en los efectos tiempo. Estos efectos recogen variables omitidas al modelo que varían con el tiempo o shocks estocásticos comunes a todos los países.

El análisis gráfico confirma que los acontecimientos desencadenantes de la transición emisiones-PIB per cápita parecen estar asociados más a determinados eventos históricos que al hecho de haber alcanzado un determinado nivel de desarrollo. La reducción en el cociente emisiones/energía no es suficiente para garantizar la disminución de las emisiones, sino que debe combatirse con una caída del cociente energía/PIB en un contexto de crecimiento económico moderado. Los acontecimientos que han actuado como “detonantes” de la transición CO2-PIB (crisis petrolíferas de los setenta y transición hacia el mercado en los países de Europa del Este) no están sistemáticamente asociados a una economía en crecimiento y ni siquiera responden a motivaciones ambientales (Díaz Vazquez & Cancelo, 2009).

Roca y Serrano (2006) encontraron que el estado de la CKA en forma de U invertida se puede encontrar entre las presiones ambientales y el ingreso per cápita, ya que en la fase inicial de crecimiento económico se tienen efectos ambientales negativos; sin embargo, una vez alcanzado el nivel de ingreso per cápita crítico se alcanza una situación que implica el mejoramiento ambiental. Sin embargo, mientras que la evidencia empírica de la disminución de algunos problemas ambientales en los países ricos se ha informado, ninguno de los contaminantes se ha demostrado que siga de manera inequívoca la evolución predicha por la hipótesis de la CKA. Muchos autores afirman que la hipótesis podría ser apropiada sólo en el caso de los contaminantes con efectos locales y de corto plazo y con relativamente bajos costos de mitigación, tales como el SO<sub>2</sub>, mientras que las emisiones que aumentan monotónicamente con el aumento en el nivel de ingresos es para los contaminantes con un mayor impacto global y con efectos de largo plazo, para el cual la reducción es más complicada, como es el caso del CO<sub>2</sub>.

Por lo tanto, la hipótesis de la CKA no puede ser generalizada para describir las relaciones entre la economía y el medio ambiente. Algunos autores sugieren tomar en cuenta aspectos institucionales como variables explicativas significativas para describir el deterioro ambiental; sin embargo, existe la dificultad al incluir estas variables en modelos econométricos, así como la de separar el efecto de las regulaciones ambientales sobre los efectos anteriormente comentados

(composición, desplazamiento, ingreso y progreso tecnológico) (Gitli, 2002; Angulo, 2010).

“Según algunos, el hecho de que exista un nivel adecuado de participación en la toma de decisiones políticas para que así los que se ven afectados por externalidades negativas puedan revertir la situación es relevante, además del nivel de educación y de las posibilidades de organización de los ciudadanos” (Angulo Guerrero, 2010, Pág. 5).

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental la relación de los ingresos con el medio ambiente sigue siendo problemática y se requerirá de que la política ambiental determina si el crecimiento futuro de los ingresos es compatible con el desarrollo sostenible (Ekins, 2000).

Correa, Ramírez y Montoya (2005), encontraron que, para el caso de Colombia, a mayores niveles de ingresos, se da una disminución en la contaminación medida a través del SO<sub>2</sub> es decir que se confirma la hipótesis planteada por Ravallion (2000); a mayores libertades políticas hay menores emisiones de SO<sub>2</sub>. Cuando en Colombia las personas se desenvuelven en procesos democráticos más abiertos, éstas pueden ejercer una mayor presión para que el gobierno establezca políticas de protección medioambientales más eficientes. Para las emisiones de CO<sub>2</sub>, contrario a las de SO<sub>2</sub>, a mayor concentración del ingreso, se da un incremento en la contaminación medida a través del CO<sub>2</sub>. A mayores libertades políticas, mayor emisión de CO<sub>2</sub>. Es decir, que las personas no están ejerciendo su libertad para buscar mejoras del medio ambiente. El crecimiento económico no es la única solución para el deterioro ambiental.

Cantos y Balsalobre (2011) encontraron que junto al crecimiento económico y la desigualdad, la regulación gubernamental basada en la promoción de energías renovables ha contribuido de forma efectiva a la corrección del deterioro medio ambiental. Por lo tanto son necesarias las políticas ambientales para que incentiven los procesos de innovación tecnológica tendentes a la reducción de los costos de producción.

Andreoni y Levison (2001) proponen un modelo estático que radica en explicar los rendimientos crecientes a escala en la disminución del uso de tecnologías. Este enfoque puede ser visto como una forma reducida de un gran número de modelos que se enfocan en muchos mecanismos diferentes (cambio en la tecnología o un cambio en las instituciones).

Egli y Steger (2007), en su modelo específico se utiliza para comprender cuando ocurre el nivel máximo de contaminación derivado de otros factores que no solo considera al ingreso per cápita, sin considerar a los factores de preferencia de un ambiente más limpio, los rendimientos crecientes a escala por el uso de nuevas tecnologías y la magnitud de otros factores externos. Este planteamiento se fundamenta en un modelo dinámico que no sólo indica una relación de U invertida entre contaminación e ingreso per cápita, sino que también es compatible al

crecimiento económico y a la mejora sostenida del medio ambiente a lo largo del tiempo.

Se puede determinar que en el nivel máximo de contaminación existe una disminución en el “consumo” de contaminación generado por un cambio de preferencia de un ambiente más limpio. Por lo tanto, el individuo se vuelve un agente importante en el desarrollo de un ambiente de menor contaminación, ya que conforme transcurre un periodo, los consumidores de una economía incrementan su ingreso y modifican sus preferencias.

Johansson y Kriström (2007) definen la función de utilidad y producción de una economía donde se tiene a la contaminación como un producto y el uso de la tecnología en sector productivo de la sociedad. La función de utilidad de los individuos depende del consumo y de la contaminación. Comprobaron que en el largo plazo existe un efecto sustitución y un efecto ingreso en el consumo de la contaminación. Esto ocurre porque conforme aumenta el ingreso, las nuevas tecnologías son implementadas en las industrias, generando una reducción tanto en la producción como en el deseo de consumir la contaminación.

Pittel (2006) argumenta que las CKA pueden aplicarse para determinadas variables de “stock”, tales como minerales y desperdicios, pues la mayoría de las CKA son analizadas para variables de flujo; las CKA pueden darse por la combinación entre reciclaje y escasez creciente de materiales, demostró que una CKA de recursos no renovables puede surgir durante la transición hacia la senda de crecimiento de largo plazo.

Así mismo, planteó supuestos referentes a la habilidad de las empresas de reciclaje de internalizar la interrelación entre las decisiones de reciclaje hoy y la disponibilidad futura de material de desperdicio reciclable con respeto a los prerrequisitos para una CKA y su velocidad de convergencia. Dicha internalización implica que una economía puede adentrarse en una trampa de pobreza; podría no tener capacidad de converger al equilibrio de largo plazo si su dotación inicial de recursos y capital es bajo (Pittel, 2006).

Muchos de los estudios teóricos a cerca de los determinantes de esta relación entre decisiones de reciclaje y la disponibilidad en el futuro de material de desperdicio reciclable también han llegado a enfocarse en que no existe un supuesto factible que relacione la tecnología y las preferencias en el tiempo con el daño tecnológico (Stern, 1998; Stokey, 1998, McConnell, 1997 y López, 1994).

Sin embargo este argumento bien puede ser eliminado ante el surgimiento de modelos dinámicos que explican esta relación (Egli y Seger, 2007 y Pittel, 2006), así como evidencia reciente en donde incorporan el uso de tecnología y las preferencias para explicar la forma de la relación entre ingreso y contaminación (Johansson & Kriström, 2007).

En la comprobación de la hipótesis de la CKA existen al menos tres factores: el cambio tecnológico, la estructura de la demanda y las preferencias individuales (Roca & Serrano, 2006).

### 2.3. Estudios Recientes sobre la CKA

Roca y Padilla (2003) consideraron los flujos totales para España de los 8 contaminantes atmosféricos para los que se disponen de series históricas. Considerando también los tres principales gases de efecto invernadero, que son el dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso, más otros. A través de la realización de un modelo explicativo para cada uno de los contaminantes, presentan la visión de conjunto de la relación que existe entre el ingreso per cápita y los diversos contaminantes atmosféricos; encontrando que existe una importante relación positiva entre el PIB y las emisiones CO<sub>2</sub>. La elasticidad entre las dos variables es mayor que uno. Ninguno de los contaminantes estudiados muestra de forma inequívoca la CKA. Además, encontraron que la relación entre emisiones y PIB se ve significativamente influida por dos factores que actúan en sentido contrario: la proporción de carbón respecto al total e energía primaria que, cuando aumenta, hace aumentar las emisiones; por otro, la importancia relativa de la energía nuclear, que afecta en sentido contrario.

Poudel, Paudel y Bhattarai (2009) evaluaron la relación entre el CO<sub>2</sub> con el ingreso per cápita en países de América Latina y el Caribe a través de un modelo de efectos fijos de un panel de datos; encontrando a través de este análisis una curva en forma de N para la región; sin embargo, esta forma encontrada es sensible si se remueven algunos países de la lista. Rechazaron una regresión paramétrica cuadrada a favor de una estimación semi-paramétrica.

He y Wang (2011) desarrollaron a través de un modelo multiplicativo de la CKA donde la estructura económica, la estrategia de desarrollo y la regulación ambiental son consideradas como determinantes de la altura y pendiente de la CKA. Comparan la forma de la CKA tradicional, otra con el primer ajuste de la altura y la tercera por el ajuste de la pendiente.

El modelo está estimado con datos panel de 74 ciudades chinas, considerando los tres contaminantes más importantes en china: Total de partículas suspendidas (TSP), Dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (NOX). De este estudio se concluyó que no hay una solución de una sola forma definida que se ajuste a todas las economías con diferencias estructurales, arreglos técnicos e institucionales. Este tipo de análisis se puede realizar solo para algunos países desarrollados.

También encontraron que las variables incluidas afectan directamente a la relación entre la contaminación y el nivel de ingresos; las políticas tienen diferentes impactos de acuerdo a la etapa de desarrollo en que se encuentre el país. Y finalmente se concluye que es imposible incluir en un modelo multiplicativo de la CKA todas las variables importantes. El modelo empleado por He y Wang (2011) sufre problemas de multicolinealidad.

Piaggio y Padilla (2012), a través de un modelo de corrección de errores y análisis de cointegración, analizaron la homogeneidad en la forma funcional, los

parámetros y el punto de inflexión de la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y la actividad económica entre los países que presentan un alto grado de solapamiento entre las series.

Estudiaron (Piaggio, Alcántara, & Padilla, Document de Treball, 2012) 32 países de la OCDE además de Brasil, China e India, encontrando que es posible afirmar que existe una relación de largo plazo entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB per cápita para 25 de los 31 países. Existen casos en que países con trayectorias no homogéneas alcanzan un punto de inflexión en similar nivel de actividad. Y para algunos países se rechaza la CKA.

A través de un análisis no lineal de la relación entre las variables, Esteve y Tamarit (2012) usaron técnicas de cointegración y con los resultados alcanzados demostraron un acercamiento a la relación lineal, posiblemente a causa de la heterogeneidad encontrada en los datos. El objetivo de esta investigación era presentar el umbral de cointegración entre las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y el ingreso per cápita para la economía española. Con datos anuales del Instituto Nacional de Estadística de España, hallaron el nivel de ingreso per cápita a partir del cual se cumple la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental para España, la cual afirman, se cumple en el largo plazo.

Duro, Teixidó Figueras y Padilla (2014) analizaron las inequidades en la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> con sus factores explicativos para ayudar al diseño de políticas para los países. Utilizaron datos para todo el mundo extraídos de la Agencia Internacional de Energía y usando metodologías de agrupación, suma y multiplicación, así como la técnica de descomposición. Encontrando que la reducción de la intensidad de las emisiones coincide con una clara reducción en su dispersión internacional; el componente principal de las inequidades es entre los componentes de los grupos que se tomaron en cuenta.

Es decir, que si el crecimiento económico es mayor al esperado, se debería reflejar en una reducción por debajo de las emisiones esperadas. Estos autores fueron los primeros en aplicar la metodología de la descomposición para la medida de la inequidad en las emisiones.

Por otra parte, Farhani, Mrizak y otros (2014) llevaron a cabo una investigación para mostrar que se cumple la hipótesis de la CKA y de la CKA modificada para los países del Medio Oriente y el Norte de África (Bahrein, Egipto, Jordania, Líbano, Mauritania, Marruecos, Túnez, Algeria, Iran, Oman, Arabia Saudí, Siria y Túnez). Este trabajo se basaba en la hipótesis de que existe una relación en forma de U invertida entre la degradación ambiental y el ingreso, así como entre la sustentabilidad y el desarrollo humano.

Utilizaron el método de datos panel. Establecieron en el modelo que los factores como la energía, el comercio, la manufactura de valor agregado y el papel que juega la ley, están relacionados.

El modelo consistió en analizar una relación de largo plazo entre las emisiones, el ingreso per cápita y el consumo de energía, datos que obtuvieron del

Banco Mundial. De acuerdo a lo encontrado por Faharni, Mrizak y otros (2004), el resultado de sus estimaciones de la CKA, el desarrollo humano y la sustentabilidad son cruciales en la construcción efectiva de políticas ambientales.

Conjuntamente, Wang, Zhou, Wang y Zha (2015) realizaron un estudio empírico para probar la hipótesis de la CKA para la calidad ambiental en la provincia de Gansu, China, a través de un análisis de cointegración y un modelo de vector autorregresivo VAR.

En esta investigación se encontró que el efecto escala y el efecto composición tienen una contribución débil en la restauración del medio ambiente; pero el efecto tecnología y las regulaciones ambientales juegan roles importantes. No se encontraron signos de mejora ambiental en Gansu; por lo que los autores comprenden que los esfuerzos se pueden ver reflejados a largo plazo si se aplican medidas correctivas a tiempo, que protejan al medio ambiente.

Dentro de sus observaciones (Wang, Zhou, Wang, & Zha, 2015), consideran que es posible alcanzar la mejora ambiental sin la necesidad de ser pobres, además que no se debería esperar más tiempo para salvar los recursos, proteger al medio ambiente y encontrar la armonía entre lo ecológico y lo económico.

Para Tutulmaz (2015) Turquía cumple la hipótesis de la CKA para las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que comprueba la hipótesis a través de un método de cointegración usando de manera convencional la CKA y agrega posteriormente a su modelo variables como energía y producto per cápita y variables econométricas no estructurales. El autor considera que la generación de políticas ambientales debe considerar este tipo de análisis. Encuentra mucha diversidad en la estimación y las pruebas de cointegración, así como diversidad de resultados que se debe a las restricciones del modelo, por lo que encuentra que la comprobación de la CKA debe llevarse a cabo de manera no restrictiva.

Otro estudio para Turquía fue realizado por Bölük y Mert (2015) en el cual examinaron el potencial de las fuentes de energía renovable en el impacto de las emisiones de Gases de efecto invernadero. La hipótesis de este trabajo considera que la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, electricidad usando fuentes renovables y el PIB se puede explicar a través de la hipótesis de la CKA. Para poder comprobar lo anterior realizaron un modelo de distribución de rezagos autorregresivos (Autoregressive Distributed Lag (ARDL)) y aplicaron cointegración.

De este estudio se obtuvo que el coeficiente de producción de electricidad a partir de las fuentes renovables con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> es negativa y significativa en el largo plazo. Este mismo efecto es positivo y estadísticamente significativo en el corto plazo.

La producción de energía renovable contribuirá a la mejora del medio ambiente en un lapso de un año, según los autores; y el punto de inflexión de la curva se calculó para 9,920 dólares. Se espera que dicho punto de inflexión se alcance en los próximos años con el crecimiento del PIB per cápita.



Arbulú, Lozano y Rey-Maqueira (2015) proponían que la teoría de la CKA es capaz de explicar la relación entre el turismo y la generación de residuos sólidos municipales. Realizaron su investigación para la Unión Europea con datos anuales del Banco Mundial y Eurostat con el objetivo de proveer de herramientas para el manejo del turismo y los desechos sólidos municipales en la Unión Europea y contribuir al manejo sustentable de los desechos.

Para poder realizar esta investigación, utilizaron datos panel; en su modelo incluyen dos variables explicativas y un conjunto de variables dummy para cuantificar el efecto del turismo de especialización en la generación de residuos sólidos municipales. A través de esta metodología pudieron encontrar que los países del norte tienden a tener una elasticidad ingreso más baja que la mayoría de los países desarrollados. Así mismo, se confirmó el efecto no lineal y significativo de la llegada de turistas, gasto por turista y turismo de especialización en la generación de desechos sólidos municipales.

Los estudios empíricos revelan que existe una relación en forma de CKA para la explicación de la relación entre el ingreso per cápita y la generación de desechos sólidos municipales, al mismo tiempo que existe un efecto significativo del turismo en la generación de desechos sólidos municipales. Encontraron que el punto de inflexión en la relación entre turismo y generación de residuos sólidos se localiza a niveles relativamente bajos de las variables, mientras que la relación es creciente y cuasi-lineal entre las variables.

Ben Jebli y Ben Youssef (2015) desarrollaron un modelo basado en la hipótesis de la CKA para probar que existe una relación unidireccional entre el comercio, el PIB, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía no renovable. Sin embargo, esta relación no está soportada por la CKA en el largo plazo. Su investigación tiene por objetivo encontrar la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, PIB, consumo de energía renovable y no renovable y el comercio internacional en Túnez.

Utilizaron una distribución autorregresiva (ARDL) con cortes estructurales y un vector de corrección de errores para el método de cointegración; y encontraron que las estimaciones de largo plazo muestran que la energía no renovable y el comercio tienen un impacto positivo en las emisiones de CO<sub>2</sub>; mientras que las energías renovables impactan débil y negativamente a las emisiones de CO<sub>2</sub> cuando se usa el modelo con exportaciones y este impacto es estadísticamente no significativo cuando se usa el modelo con importaciones. La CKA no es soportada gráficamente y analíticamente en el corto plazo, por lo que se deduce que Túnez no ha alcanzado aún el nivel requerido de PIB per cápita para tener una CKA en forma de U invertida.

Apergis y Ozturk (2015) se preguntaron cómo el ingreso y las políticas en 14 países asiáticos (Bangladesh, Indonesia, Irán, Japón, República de Corea, Malasia, China, Nepal, Oman, Pakistan, Arabia Saudita, Singapur y Emiratos Árabes) afectan la relación entre ingreso y emisiones ambientales. Su objetivo en esta investigación consistía en probar la hipótesis de la CKA para los 14 países asiáticos a través de la construcción de un panel de datos. El modelo multivariado

que utilizaron incluye emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, PIB per cápita, densidad de la población, tierra, aportación industrial al PIB y cuatro indicadores que miden la calidad de las instituciones.

En términos de la presencia de una asociación en forma de U invertida entre las emisiones y el ingreso per cápita, las estimaciones tienen los signos esperados y son estadísticamente significativas, aportando al soporte teórico ante la presencia de la hipótesis de una CKA. La degradación ambiental incrementa con el PIB per cápita durante las primeras etapas del crecimiento económico y posteriormente declina después de haber alcanzado cierto nivel de PIB per cápita.

Los autores (Apergis & Ozturk, 2015) agregan que como implicación política, se deben tomar algunas medidas para reducir la contaminación ambiental sin algún sacrificio para el crecimiento económico de estos países. Algunas de estas medidas tienen que ver con la reducción de los gases de efecto invernadero que provienen de la industria, el transporte y el calor y el incremento del biodiesel, plantas de energía alternativa con fuentes como la energía solar o eólica. Así como la aplicación de tecnologías ambientales.

Yin, Zhen y Chen (2015) consideraban que las emisiones de CO<sub>2</sub> siguen la curva de Kuznets. El progreso tecnológico cambia la forma de la CKA, es decir, que a mayor nivel de tecnología, se acelera el decrecimiento de la pendiente de la curva. La regulación ambiental cambia la forma de las CKA para emisiones de CO<sub>2</sub> y una regulación estricta hace a la curva más plana. Para conocer la manera en que la política y el cambio tecnológico inciden en la forma de la CKA para emisiones de CO<sub>2</sub> en China realizaron un modelo de mínimos cuadrados generalizados. En donde las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, medidas en toneladas, son explicadas por el PIB per cápita, la regulación ambiental y el progreso tecnológico.

A través de este estudio, los autores (Yin, Zheng, & Chen, 2015) encontraron que existe una CKA para las emisiones de CO<sub>2</sub> en China. La regulación ambiental tuvo un efecto moderador de la CKA para CO<sub>2</sub>. El avance tecnológico beneficia a la reducción de las emisiones, teniendo un efecto desplazamiento significativo. La eficiencia energética, la estructura energética y la estructura de la industria tienen distintos impactos en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para todas las evidencias, las emisiones de CO<sub>2</sub> presentan primero una etapa creciente y posteriormente decrece con el crecimiento económico de China.

Por otra parte, Al-Mulali, Saboori y Ozturk (2015) inician su investigación partiendo de la hipótesis de que cuando el ingreso de un país incrementa, también lo hará la demanda pública de mejor calidad ambiental. Por lo tanto, los esfuerzos del gobierno incrementarán hacia la calidad ambiental. En Vietnam, el gobierno está continuamente trabajando para reducir la presión ambiental del país, por lo tanto, los autores desearon comprobar la existencia de la hipótesis de la CKA en Vietnam durante el periodo de 1982 a 2011 a través de un análisis de cointegración con distribución autorregresiva (ARDL). Para la

elaboración de su modelo utilizaron las variables PIB per cápita, capital, fuerza laboral, exportaciones e importaciones.

Los resultados revelaron que la hipótesis no existe en Vietnam porque el capital aumenta la contaminación. Además, las importaciones también aumentan la contaminación que indica que la mayor parte de los productos importados de Vietnam son grandes consumidoras de energía y altamente contaminantes. Sin embargo, las exportaciones no tienen ningún efecto sobre la contaminación que indica que el nivel de las exportaciones no es lo suficientemente importante como para afectar a la contaminación. La contaminación de combustibles fósiles aumenta el consumo de energía, mientras que el consumo de energía renovable no tiene ningún efecto significativo en la reducción de la contaminación. La fuerza de trabajo reduce la contaminación ya que la mayoría de la fuerza laboral de Vietnam está en los sectores agrícolas y de servicios que usan menos energía que el sector industrial. Con base en los resultados obtenidos, la hipótesis CKA no existe porque la relación entre el PIB y la contaminación es positivo, tanto a corto como a largo plazo (Al-Mulali, Saboori, & Ozturk, 2015).

Otro estudio revisado fue el que realizaron Robalino López, Mena-Nieto y otros (2015), quienes estudiaron la CKA para Venezuela, en dicha investigación los autores intentan determinar si es posible estabilizar las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo un rápido incremento del PIB a mediano plazo e identificar cómo los cambios en la economía afectan las emisiones de CO<sub>2</sub> para Venezuela. Este estudio lo realizaron utilizando la metodología de la identidad de Kaya así como una extensión de ésta, con información que incluye el efecto de las energías renovables, y utilizando técnicas de cointegración. Los autores encontraron que Venezuela no cumple con la hipótesis de la CKA; sin embargo, podría alcanzar la estabilización en mediano plazo. Esta estabilización debería complementarse con crecimiento económico, el uso de energía renovable, cambios en la generación de energía y en la estructura sectorial productiva.

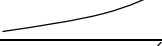
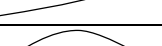

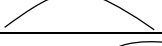
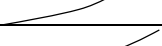
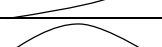

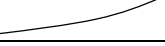
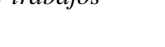
Pérez y López (2015) se enfocaron en la comprobación de la hipótesis de la CKA y la Curva Ambiental de Logística (ELC) considerando una muestra de 175 países en los que comparaban ambos métodos. Los resultados empíricos mostraron evidencia significativa sobre la adecuación de la CKA y la ELC para la explicación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes países.

La investigación de Pérez y López mostró para la mayoría de los países de la muestra curvas en forma de N y también N invertida, así como una variedad de resultados. Obtuvieron proyecciones hasta el año 2020, dentro de las cuales encontraron que únicamente se espera que 6 países reduzcan sus emisiones, comparadas con las de 1990, que son Australia, Finlandia, Alemania, Países Bajos, Suiza y Malasia. Los autores consideran (Pérez Suárez & López Menéndez, 2015) que son necesarias más políticas ambientales dedicadas a evadir el alto costo de la inacción en términos económicos y humanos.

A continuación se presenta un cuadro resumen de la revisión bibliográfica.

Tabla 1

## Cuadro resumen de hallazgos

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Periodo</b>	<b>País</b>	<b>Tendencia CKA</b>
Grossman y Krueger	1993	1973-1989	México, EUA, Canadá	
Roca y Padilla	2003	1980 - 2011	España	
Poudel et al.	2009	1980 - 2000	Latinoamérica y el Caribe	
He y Wang	2011	1991 - 2001	China	
Esteve y Tamarit	2012	1857 - 2007	España	
Trujillo et al.	2013	2008 - 2011	Colombia	
Farhani et al.	2014	1990 - 2010	MENA	
Wang et al.	2015	1980 - 2012	China	
Tutulmaz	2015	1968 - 2007	Turquía	
Arbalú et al.	2015	1997 - 2010	Unión Europea	
Bölük y Mert	2015	1961 - 2010	Turquía	
Ben Jebli	2015	1980 - 2009	Túnez	
Apergis y Ozturk	2015	1990 - 2011	Países asiáticos	
Yin et al.	2015	2000 - 2012	China	
Al-Mulali et al.	2015	1982 - 2011	Vietnam	
López et al.	2015	1980 - 2025	Venezuela	

*Nota: Este cuadro fue elaborado a partir de los hallazgos de diversos trabajos previos revisados*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3. METODOLOGÍA

Los datos panel tienen una estructura que contiene mucha información, al contar con observaciones de unidades individuales a través del tiempo. Sin embargo, modelar relaciones entre variables con este tipo de base de datos supone retos, ya que produce una matriz de varianza-covarianza de las variables consideradas que depende del tiempo y de las unidades particulares (Toledo, 2015).

Al usar datos panel se reduce la heterogeneidad individual y la colinearidad entre variables porque es más confiable y con estimaciones estables de los parámetros. Aun así, existen ciertas limitaciones para el método de datos panel como el problema del diseño y la recolección de datos, las distorsiones de medida de los errores y especialmente la dependencia del corte transversal, que es usualmente asociada con macro datos (Baltagi, 2005).

También es más eficiente en reconocer y medir efectos, comparado con el corte transversal o las series de tiempo. Para algunos tipos de aplicaciones esa estructura de datos es la única que posibilita su examen, mientras que para otras el costo de aumentar la precisión se mide en términos de la complicación en los cálculos de los posibles estimadores que pueden ser utilizados. El modelo en general de regresión lineal con datos panel se puede presentar de la siguiente manera.

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{it}X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N;$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

Donde la variable  $y_{it}$  es la variable dependiente,  $X_{it}$  es un vector de variables independientes ( $K \times 1$ ),  $\varepsilon_{it}$  es el elemento aleatorio,  $i$  se refiere a individuos y hay  $N$  de ellos, y  $t$  se refiere a la serie de tiempo que llega hasta el periodo  $T$ . Las letras griegas representan los parámetros del modelo:  $\alpha_{it}$  recoge los elementos particulares de los individuos que se presumen cambian a través del tiempo y  $\beta_{it}$ , muestra las pendientes de la ecuación, que son distintas para cada  $i$  y  $t$ .

El modelo anterior es muy general y no se puede estimar porque hay más parámetros (interceptos y pendientes para cada individuo y  $t$ ) que observaciones. La estimación requiere que se impongan restricciones sobre la forma que los parámetros varían con respecto a  $i$  y  $t$ , y sobre la naturaleza del elemento estocástico. Una forma de tratar ese asunto es presumiendo que los interceptos cambian a través de los individuos, pero no las pendientes, en cuyo caso el modelo luciría como sigue:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N;$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

Para poder realizar la estimación de esa ecuación es necesario suponer que el término aleatorio tiene media condicional, en los valores pasados, corrientes y futuros de las variables independientes, igual a cero (Toledo, 2015). Dicho supuesto descarta variables dependientes rezagadas y variables endógenas como regresores. Los interceptos ( $\alpha_{it}$ ) recogen elementos intrínsecos no observables que se presume no dependen del tiempo.

El objetivo principal de la estimación de este segundo modelo es obtener estimadores consistentes y eficientes de los efectos parciales de las variables independientes observables sobre la variable dependiente.

Se han desarrollado distintas estructuras de este último modelo de los cuales los más utilizados son el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios (Toledo, 2015).

El modelo de efectos fijos (FE), en el cual se presume que las  $\alpha_i$  son variables aleatorias no observables y que pudieran estar correlacionadas a la  $X$ 's. Si existiera dicha correlación y se estima el modelo como uno regular, usando los mínimos cuadrados ordinarios como datos mixtos, los estimadores serían inconsistentes y sesgados. Por lo tanto, otros estimadores son necesarios en paneles con  $T$  fija.

El modelo de efectos aleatorios (RE) parte del supuesto de que las  $\alpha_i$  son variables aleatorias que no están correlacionadas con los regresores. Se supone que esas variables son independientes e idénticamente distribuidas al igual que el término de error, aunque las dos distribuciones no tienen que ser las mismas. Dicho modelo puede estimarse como un *pooled data* con mínimos cuadrados ordinarios, donde el elemento estocástico incluya los efectos aleatorios. Dichos estimadores serían consistentes pero ineficientes.

Por otra parte existen los modelos dinámicos, que han sido desarrollados con el propósito de incorporar en la estimación las relaciones de causalidad que se generan en el interior del modelo, como una forma de tratar los problemas de endogeneidad. La endogeneidad puede ser tratada a través de diferentes vías, sin embargo, una de las formas más habituales es a través de variables instrumentales expresadas como retardos de la variable endógena (Labra & Torrecillas, 2014).

Los paneles dinámicos permiten incorporar al modelo una estructura endógena, mediante la integración de efectos pasados a través de variables instrumentales (Labra & Torrecillas, 2014). Incorporando una relación entre la variable dependiente y las independientes de la manera bidireccional, y a su vez, la relación de dependencia entre las variables independientes.

Si se usan los retardos como instrumentos de la variable endógena, el regresor corresponderá al valor en t-n (Niveles) de la variable endógena o la diferencia de estos valores  $X_{(t-n)} - X_{(t-(n-1))}$  (Diferencias). Por lo tanto, mientras más grande sea el periodo de (t) dispondremos de un mayor número de instrumentos. Para estimar este tipo de modelos se emplea el Método de los Momentos Generalizado, conocido como GMM, por sus siglas en inglés. Una de las alternativas es el estimador de Arellano y Bond (1991) conocido como *Difference GMM*, ya que utiliza como instrumentos las diferencias de los retardos.

Las fórmulas del Sistema GMM son las siguientes:

$$Y_{(it)} = \alpha Y_{i,t-1} + \beta X'_{it} + \varepsilon_{t-1}$$

$$\varepsilon_{it} = \mu_i + \vartheta_{it}$$

$$E(U_i) = E(\vartheta_{it}) = E(\mu_i \vartheta_{it}) = 0$$

Donde:

$Y_{(it)}$  = es la variable dependiente del individuo i en el tiempo t

$X_{(it)}$  = es la variable independiente del individuo i en el tiempo t

Donde el término de error  $\varepsilon_{(it)}$  tiende dos componentes ortogonales:

$\mu_i$  = los efectos fijos

$\vartheta_{it}$  = Shocks indiosincráticos

La manera en que se ha comprobado la hipótesis de la CKA ha sido muy diversa. Para este estudio se utiliza el modelo de datos panel pues tiene grandes ventajas para una muestra dentro del periodo 1995 a 2011 (Baltagi, 2005).

Para examinar la relación existente entre el crecimiento económico y las emisiones de CO2 se utilizaron dos modelos; el primero (3), con datos de PIB per cápita, que explica las emisiones de CO2, como un modelo convencional para comprobar la hipótesis de la CKA. El segundo modelo (4) incluye, además del PIB per cápita, otras variables como el consumo de energía eléctrica, exportaciones e importaciones y la recaudación a través de impuestos ambientales para los países de la OCDE, el segundo modelo del panel es presentado de la siguiente manera:

$$CO2 = f(PIB, PIB2) \dots\dots\dots(3)$$

$$CO2 = f(PIB, PIB2, CEE, CEFOSIL, EX, IM, TAX) \dots\dots\dots(4)$$

Donde CO2 es el total de las emisiones de dióxido de carbono medido en toneladas métricas per cápita; PIB denota el Producto Interno Bruto per cápita, PIB2 el PIB per cápita al cuadrado, CEE se refiere al consumo de energía eléctrica; CEFOSIL al consumo de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles (como porcentaje del total); EX son las exportaciones; IM son importaciones y TAX se refiere al ingreso por impuestos ambientales.

### 3.1. Datos

Como se ha mencionado previamente, la CKA originalmente se ha estudiado únicamente a través de la relación existente entre las emisiones de algún contaminante y el PIB per cápita; investigaciones previas han trabajado la teoría agregando nuevas variables explicativas al fenómeno del incremento o la disminución de contaminantes (sólidos o atmosféricos).

Para este caso se ha tomado como variable dependiente a las emisiones de dióxido de carbono por las razones que se expresaron en secciones previas de este trabajo. Para su explicación, se han tomado diversas variables que han sido utilizadas por otros autores, como son el consumo de energía eléctrica, las importaciones y exportaciones; pues la generación de energía eléctrica proviene principalmente del uso de combustibles fósiles, generando gran cantidad de gases de efecto invernadero. Además, el comercio exterior implica la existencia de efecto desplazamiento o efecto tecnología. Se han agregado a esta explicación datos relevantes como el porcentaje de energía proveniente de combustibles fósiles, el porcentaje de energía proveniente de energía nuclear y alternativa; e ingresos obtenidos a través de impuestos relacionados con el ambiente.

Se intentaron utilizar otras variables para ser también explicadas, como el total de partículas suspendidas, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno o el óxido de azufre, encontrando que no había datos suficientes para obtener de ellos un panel de datos balanceado<sup>1</sup>; pues se carece de información para diversos países, entre ellos México. Por lo que se consideraron únicamente los datos de emisiones de dióxido de carbono.

Por otra parte, se buscó agregar al panel de datos algunas variables como el índice de eco-innovación, primera herramienta para evaluar el rendimiento e ilustrar la innovación ecológica en todos los estados miembros de la Unión Europea (Eco-innovation observatory, 2013); o el índice de Rule of Law el cual es un sistema que mide el estado de derecho que experimenta la población en general (World Justice Project, 2008); esta variable se habría tomado en cuenta por la relación que existe entre la presencia de leyes ambientales, su aplicación y el impacto que éstas tienen en cuanto a la emisión de contaminantes; sin embargo, dichas variables se encuentran disponibles solo para algunos países y para años recientes (posteriores al 2012), quedando fuera del rango que permite obtener un panel de datos balanceado con un número considerable de observaciones para los países que conforman la OCDE. La variable de gastos de protección al ambiente proporcionada por Eurostat también se intentó utilizar para el panel; sin embargo se carecía de un gran volumen de datos, por lo que se decidió no utilizar estas variables a fin de obtener resultados con base en datos completos para el periodo elegido.

---

<sup>1</sup> Un panel balanceado es el que tiene un número de periodos igual para todos los individuos.



A continuación se hace la descripción de las variables utilizadas en este modelo, se trata de series anuales de: Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, consumo de energía eléctrica, importaciones, exportaciones, ingresos a través de impuestos ambientales, consumo de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles y consumo de energía eléctrica alternativa y nuclear; que en conjunto intentan explicar el comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los países miembros de la OCDE.

### **3.1.1. Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Los datos utilizados en este documento son publicados por el Banco Mundial (2015); los obtiene del Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono de la División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Tennessee, Estados Unidos. Estos datos están estimados en toneladas métricas per cápita.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> son las que se derivan de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación de cemento. Incluyen el dióxido producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gases combustibles y la quema de gas (Banco Mundial, 2015).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> representan la mayor parte de los gases de efecto invernadero que están asociados con el calentamiento global. En la combustión, los combustibles fósiles liberan diferentes cantidades de CO<sub>2</sub> para el mismo nivel de consumo de energía: “Los derivados del petróleo liberan un 50% más CO<sub>2</sub> que el gas natural; y el carbón libera aproximadamente el doble. La fabricación de cemento libera alrededor de media tonelada métrica de dióxido de carbono por cada tonelada de cemento producido. Los datos correspondientes a las emisiones de CO<sub>2</sub> son gases procedentes de la quema de combustibles fósiles y excluye las emisiones de la utilización de la tierra, como la deforestación” (Banco Mundial, 2015).

### **3.1.2. PIB Per Cápita**

El PIB es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales. Estos datos están medidos en dólares a precios actuales (Banco Mundial, 2015). El PIB per cápita es el producto interno bruto dividido entre la población a mitad de año.

Las series de tiempo se obtuvieron del Banco Mundial; éste utiliza dos tipos de datos, los “nominales o actuales”, que están informados en precios actuales para cada año y están expresados en el valor de la moneda de ese año específico. Los otros tipos de datos son los que están en términos “constantes o reales” y presentan los datos de cada año en el valor de un año base específico que habitualmente es el 2000.

Las series actuales están influenciadas por la inflación. Las series constantes en cambio, se usan para medir el crecimiento real. Las series de precios actuales en moneda local de un país serán más altas que las series en precios constantes en los años posteriores al año base. Sin embargo, esta relación no se mantiene cuando los datos se convierten a una moneda común, como el dólar estadounidense. El Banco Mundial expresa sus series de precios en dólares estadounidenses; mantienen las tasas de crecimiento que mostraban en precios locales constantes (Banco Mundial, 2015).

Para lograr esto, el Banco Mundial divide cada año de las series en precios locales por su valor del año 2000, que representa al año 1. Posteriormente multiplica el resultado del índice de cada año por el valor correspondiente del precio actual en dólares estadounidenses del año 2000, utilizando los tipos de cambio oficiales de ese año.

Los datos que se utilizan del PIB para el modelo son a precios constantes y el PIB per cápita al cuadrado se usó para indicar la hipótesis de la CKA.

### **3.1.3. Consumo de Energía Eléctrica**

El consumo de energía eléctrica per cápita (kWh) es la producción de centrales eléctricas, menos la transmisión, distribución y las pérdidas de transformación y uso propio de calor y electricidad de las plantas generadoras, dividido entre la población a mitad de año. Los datos energéticos son obtenidos del Banco Mundial y compilados por la Agencia Internacional de Energía (IEA). El consumo de energía eléctrica incluye el consumo por las estaciones auxiliares, las pérdidas en los transformadores que se consideran parte integrante de estas estaciones y la electricidad producida por estaciones de bombeo.

Los datos abarcan la electricidad generada por fuentes primarias de energía, como son el carbón, petróleo, gas, nuclear, hidroeléctrica, geotérmica, eólica, de mareas y de las olas, y de combustibles renovables. Ni los datos de producción ni consumo capturan la fiabilidad de los suministros, incluyendo averías, los factores de carga y la frecuencia de las interrupciones (Banco Mundial, 2015).

La relevancia, desarrollo, producción y consumo de energía eléctrica de una economía son indicadores básicos de su tamaño y nivel de desarrollo. Aunque algunos países exportan la energía eléctrica, la mayor producción es para el consumo interno. La ampliación de la oferta de electricidad para satisfacer la demanda de las economías cada vez más urbanizadas e industrializadas, sin incurrir en los costos sociales, económicos y ambientales es uno de los grandes desafíos que enfrentan los países en desarrollo (Banco Mundial, 2015).

“Las sociedades modernas son cada vez más dependientes de los suministros de electricidad confiable y segura para apuntalar el crecimiento económico y la prosperidad de la comunidad. Esta dependencia está destinada a crecer como formas intensivas y más eficientes se están desarrollando para

descarbonizar a las economías, lo cual es un desafío para los países de todo el mundo” (Banco Mundial, 2015).

Para las economías en desarrollo, el crecimiento del consumo de energía está estrechamente relacionado con el crecimiento de ciertos sectores como la industria, el transporte motorizado y las áreas urbanas; sin embargo, el uso de energía también se refleja en factores climáticos, geográficos y económicos.

El consumo de energía ha estado creciendo rápidamente en las economías de ingresos bajos y medios, mientras que las economías de altos ingresos siguen utilizando casi cinco veces más energía per cápita.

Los gobiernos de muchos países son cada vez más conscientes de la necesidad urgente de hacer un mejor uso de los recursos energéticos. La mejora en la eficiencia energética es frecuentemente uno de los medios más económicos y de mayor accesibilidad para mejorar la seguridad energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

#### **3.1.4. Consumo de Energía Proveniente de Combustibles Fósiles**

La información es obtenida a través del Banco Mundial (2015), compilados por la Agencia Internacional de Energía (IEA).

Los combustibles fósiles son fuente de energía no renovable porque ésta toma millones de años para formarse y las reservas de éstos han sido agotadas mucho más rápido de lo que nuevos combustibles fósiles son formados.

Los datos que recopila esta serie se refiere a los combustibles provenientes del carbón, petróleo y gas natural.

#### **3.1.5. Ingresos por Impuestos Ambientales**

Los impuestos ambientales han tenido un claro impacto positivo en el medio ambiente, bajo el supuesto de que esos impuestos hayan sido aplicados. Dichos impactos positivos han sido documentados en diversas publicaciones por parte de la OCDE, más recientemente en el libro *Taxation, Innovation and the Environment* (OECD, 2014).

A pesar de los avances en la aplicación de impuestos ambientales, se usan en relativamente pocos países; sin embargo, su uso está creciendo. Cuando se toman en cuenta todos los impuestos relacionados con el ambiente (energía, vehículos de motor, emisiones en el aire y el agua, desechos, químicos peligrosos, etc.), los ingresos alcanzados en promedio en los países de la OCDE (2014) alcanzan un monto de 1.7% del PIB. De cualquier manera, un impuesto puede tener un impacto importante en el ambiente aún sin alcanzar este nivel de ingresos.

En 2010, el 70% del total de los ingresos de impuestos relacionados con el ambiente habían crecido en diversos productos de energía, especialmente en combustibles para vehículos de motor. Aproximadamente el 27% del total de los ingresos fueron obtenidos vía impuestos a vehículos de motor y otros transportes. Esto significa que los impuestos sobre todo lo relacionado con el medio ambiente

(para los cuales las elasticidades-precio son mayores para la energía y los vehículos) solamente logran recaudar alrededor de 3% del importe total de los ingresos (OCDE, 2015).

Parte de la explicación al por qué las medidas fiscales ambientales no han tenido un mayor alcance es debido a la incertidumbre que se tiene sobre el impacto negativo en la distribución del ingreso o en la competitividad de las empresas más afectadas. En general, hay formas de abordar adecuadamente estas preocupaciones, sin comprometer los beneficios ambientales que tales impuestos podrían acarrear. Estos temas fueron discutidos en el libro *The Political Economy of Environmentally Related Taxes* (OECD, 2014).

El uso actual de los impuestos relacionados con el medio ambiente (y una serie de otros instrumentos de política ambiental) está documentado en una base de datos de libre acceso de la OCDE, de donde se obtienen los datos para realizar la presente investigación. Además de los ingresos recaudados, la base de datos proporciona información sobre la base fiscal cubierta, los tipos impositivos aplicados, exenciones importantes y mecanismos de reembolso, etc. La base de datos es usada tanto por funcionarios públicos, académicos, representantes de la industria, etc., y la OCDE se basa en gran medida en él, tanto para las evaluaciones periódicas de las políticas de los países miembros y países asociados, así como en la preparación en materia de fiscalidad ambiental.

La OCDE, la IEA y la Comisión Europea han acordado definir a los impuestos ambientales “*como cualquier pago sin contrapartida obligatoria a las Administraciones Públicas aplicado sobre bases fiscales que se consideran de especial relevancia ambiental. Dichas bases incluyen productos de energía, vehículos de motor, los residuos, las emisiones medidas o estimadas, recursos naturales, etc. Los impuestos están sin contrapartida en el sentido de que los beneficios proporcionados por el gobierno a los contribuyentes no va en proporción a sus pagos*”. (OECD, 2006)

### **3.1.6. Importaciones y Exportaciones como Porcentaje del PIB**

Los datos sobre importaciones y exportaciones se obtienen de la información de cuentas nacionales del Banco mundial y los archivos de los datos de cuentas nacionales de la OCDE.

Las importaciones de bienes y servicios representan el valor de todos los bienes y otros servicios de mercado recibidos del resto del mundo. Incluyen el valor de las mercancías, fletes, seguros, transporte, viajes, regalías, derechos de licencia y otros servicios tales como la comunicación, la construcción, financiero, información, negocio, personal y servicios de gobierno. Excluyen la remuneración de los empleados y los ingresos por inversiones y los pagos de transferencia (Banco Mundial, 2015).

Por su parte, las exportaciones de bienes y servicios representan el valor de todos los bienes y servicios de mercado prestados al resto del mundo. Incluyen el valor de las mercancías, fletes seguros, transporte, viajes, regalías, derechos de

licencia y otros servicios tales como la comunicación, la construcción, financiero, información, negocio, personal y servicios del gobierno. Excluyendo la remuneración de los empleados y los ingresos por inversiones y los pagos de transferencia (Banco Mundial, 2015).

El PIB, desde el lado del gasto, se compone de gasto de los hogares en consumo final, el gasto en consumo final de las administraciones públicas, la formación bruta de capital (inversión pública y privada en activos fijos, la variación de existencias y adquisiciones netas), y las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones) de bienes y servicios. Tales gastos se registran en los precios de compra e incluyen los impuestos netos sobre los servicios (Banco Mundial, 2015).

Los datos sobre exportaciones e importaciones se compilan a partir de los informes y la balanza de pagos de aduana. Aunque los datos son razonablemente fiables, pueden no ajustarse estrictamente a las definiciones. Ni la aduana ni la balanza de pagos captan información de las transacciones ilegales que se producen en muchos países (Banco Mundial, 2015).

Tabla 2

## Identificación de variables

Variable		ID	Tipo	Unidades	Fuente
Dependiente	Emissiones de dióxido de carbono per cápita	CO2	Continua	Toneladas métricas per cápita	Centro de análisis de Información de Dióxido de Carbono. División de Ciencias del Medio Ambiente. Laboratorio Nacional Oak Ridge. Tennessee, EEUU.
Independiente	Producto Interno Bruto Per Cápita	PIB	Continua	Dólares a precios actuales	Datos de las cuentas nacionales del Banco Mundial y los Archivos de Datos de las Cuentas Nacionales de la OCDE.
Independiente	Consumo de energía eléctrica en kWh (kilowatts hora) per cápita	CEE	Continua	Kilowatts/hora per cápita	Agencia Internacional de Energía en conjunto con el banco de estadísticas de la OCDE
Independiente	Consumo de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles, como porcentaje del total	CEF OSI L	Logarítmica	Porcentaje del total de consumo de energía eléctrica	Agencia Internacional de Energía en conjunto con el banco de estadísticas de la OCDE
Independiente	Exportaciones	EX	Logarítmica	Exportaciones de bienes y servicios como porcentaje del PIB	Datos de las Cuentas Nacionales del Banco Mundial y los Archivos de Datos de las Cuentas Nacionales de la OCDE.
Independiente	Importaciones	IM	Logarítmica	Importaciones de bienes y servicios como porcentaje del PIB	Datos de las Cuentas Nacionales del Banco Mundial y los Archivos de Datos de las Cuentas Nacionales de la OCDE.
Independiente	Impuestos obtenidos a través de impuestos ambientales (relacionados con el ambiente)	TAX	Continua	Millones de dólares	Cooperación entre la OCDE y la Agencia Europea del Medio Ambiente

Notas: Resumen de la información de las variables para el periodo de 1995 a 2011

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2. Resultados

Siguiendo la teoría original de la CKA, se utilizaron datos sobre el PIB y el PIB al cuadrado para explicar las emisiones de CO2 en los países de la OCDE a través de un panel de datos para el periodo de 1995 al 2011. La primera prueba que se realizó a dicho panel fue la de autocorrelación, en donde la hipótesis nula H0: no existe autocorrelación de primer orden.

Esta primera prueba arrojó una  $F(1, 33) = 25.400$ , que es mayor que la F de tabla; rechazando así H0. Esto que indica que existe autocorrelación en el panel, es decir, que cada dato de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo está relacionado con el dato anterior (Escalante Cortina, 2010).

Posteriormente, con las mismas variables, se corrió un modelo de efectos fijos y otro de efectos aleatorios usando el estimador de Swamy-Arora y un modelo usando máxima verosimilitud (MLS) en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3

Resultados de la estimación de tres modelos: Efectos Fijos, Efectos Aleatorios y Máxima Verosimilitud

FE			
CO2	Coef.	t	P< t
PIB	-.0000361	-4.30	0.000
PIB2	3.77e-10	4.75	0.000
CONS	9.852486	61.26	0.000
RE			
CO2	Coef.	Z	P< z
PIB	-.0000341	-4.05	0.000
PIB2	3.66e-10	4.58	0.000
CONS	9.80962	14.94	0.000
MLS			
CO2	Coef.	z	P< t
PIB	-.0000345	-4.12	0.000
PIB2	3.68e-10	4.65	0.000
CONS	9.817585	13.68	0.000

*Fuente: Estimación propia*

Se puede apreciar que, en los modelos de efectos fijos, el de efectos aleatorios y el de máxima verosimilitud, los coeficientes resultan significativos, aunque con los signos no esperados, pues de acuerdo a la teoría de la CKA original, el PIB2 debería tener un signo negativo, que indicaría una forma de U invertida de la curva.

Existe correlación serial en los modelos, por lo que se intentó corregir con un modelo autorregresivo LA(1), tanto para el de efectos fijos, como para el de efectos aleatorios. Así mismo, se corrió un modelo en dos etapas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4

Resultados de la estimación de tres modelos autoregresivos con efectos fijos

		PIB	PIB 2	_CONST
FE (Durbin-Watson)	Coef	.0000134	-1.38e-10	8.970588
	Std. Err	0.0000143	1.23e-10	.0782067
	t	0.93	-1.12	114.70
	P> t	0.350	0.261	0.000
FE (Durbin-Watson en dos etapas)	Coef	.6.12e-06	-8.04e-11	9.134875
	Std. Err	.0000138	1.19e-10	.0836498
	t	0.44	-0.68	109.20
	P> t	0.658	0.500	0.000
FE (Efecto individual de los residuales)	Coef	.0000181	-1.74e-10	8.859311
	Std. Err	.0000146	1.25e-10	.0746929
	t	1.24	-1.39	118.61
	P> t	0.217	0.164	0.000

*Fuente: Estimación propia*

Tabla 5

Resultados de la estimación de tres modelos autoregresivos con efectos aleatorios

		PIB	PIB 2	_CONST
RE (Durbin-Watson)	Coef	.0000196	-1.38e-10	8.743704
	Std. Err	0.0000127	1.12e-10	.6266159
	z	1.54	-1.23	13.95
	P> z	0.125	0.220	0.000
RE (Durbin-Watson en dos etapas)	Coef	.0000144	-9.58e-11	8.856171
	Std. Err	0.0000124	1.10e-10	.6124472
	z	1.16	-0.87	14.46
	P> z	0.244	0.384	0.000



RE (Efecto individual de los residuales)	Coef	.0000228	-1.64e-10	8.671407
	Std. Err	.000013	1.14e-10	-1.44
	z	1.76	-1.44	13.65
	P> z	0.078	0.150	0.000

*Fuente: Estimación propia*

Luego de analizar los resultados arriba mostrados, se puede deducir que el mejor modelo que sirve para la explicación de la relación entre las emisiones de CO2 a través del PIB es el modelo de efectos aleatorios con efecto individual de los residuales por la significancia de sus variables, los valores de sus coeficientes y las pruebas que se realizaron; igualmente se encuentra que el efecto individual está correlacionado con los residuales.

Por otra parte, se aplicó la prueba de Breush y Pagan para efectos aleatorios, que es un test de multiplicadores de Lagrange. Este test indica si los efectos estáticos se prefieren al pool de datos, mediante la comparación de los efectos aleatorios con el pool de datos. Se encontró lo siguiente:

Tabla 6

Prueba de Breush y Pagan

Resultados Estimados	CO2	e	u
Var	16.86654	0.5925728	13.56546
Sd=sqrt(Var)	4.10689	0.7697875	3.683132
Test: Var(u) = 0	Chibar2(01)	3752.09	
	Prob >chibar2	0.0000	

*Fuente: Estimación propia*

En la prueba de Breush y Pagan, la hipótesis nula es que no hay efectos aleatorios, ya que se rechaza la hipótesis nula, es preferible el modelo ajustado mediante efectos aleatorios.

Hasta ahora se han encontrado dos problemas, correlación y heteroscedasticidad. Por lo que se procedió a realizar un modelo dinámico.

Tabla 7

Resultados de la estimación del modelo dinámico de datos panel

	Número de grupos	34	
	Número de instrumentos	18	
	Wald Chi2(2)	96.04	
	Prob > chi2	0.0000	

CO2	Coef.	z	P< z
L1	0.7206652	8.90	0.000
PIB	0.0000236	1.84	0.000
PIB2	-3.96e-10	-2.76	0.006
CONS	2.356682	3.20	0.001

*Fuente: Estimación propia*

En la salida anterior se puede observar que ambas variables independientes son significativas para explicar la variable dependiente y, de acuerdo a la teoría, resultan los signos esperados. El test de Wald comprueba la capacidad explicativa de las variables en su conjunto y en este caso señala que el modelo está correctamente estimado y que las variables en conjunto explican adecuadamente la variable dependiente.

A continuación, se generó la variable l.pib, que es el retardo de una variable independiente utilizada como regresos, con sus respectivas restricciones de instrumentos (Labra & Torrecillas , 2014) y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8

Resultados de la estimación del modelo dinámico de datos panel con variables instrumentales

	Número de grupos	34	
	Número de instrumentos	19	
	Wald Chi2(2)	96.85	
	Prob > chi2	0.0000	
CO2	Coef.	z	P< z
L1	0.736528	9.05	0.000
PIB	0.0000289	2.56	0.000
PIB2	-4.58e-10	-3.77	0.000
CONS	2.442226	3.37	0.001

*Fuente: Estimación propia*

Se encontró que ambas variables independientes son significativas para explicar la variable dependiente y, de acuerdo a la teoría, con los signos esperados. El test de Wald comprueba la capacidad explicativa de las variables en su conjunto y en este caso señala que el modelo está correctamente estimado y que las variables en conjunto explican adecuadamente la variable dependiente.

Este es el mejor modelo que describe la relación entre el PIB y las emisiones de CO2. Se trata de un modelo de datos panel dinámico que utiliza variables instrumentales y dos rezagos utilizando la estimación de Arellano-Bond.

Al tratarse de un panel en que el número de grupos es menor que el número de observaciones no se tiene ningún problema para hacerlo dinámico.

Las variables resultan todas significativas para la explicación de las emisiones de CO<sub>2</sub>; pues el incremento del PIB per cápita, de acuerdo con los resultados obtenidos, está relacionado de manera directa con el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Así mismo, el signo negativo del PIB per cápita al cuadrado indica que se trata de una curva en forma de U invertida y que, por lo tanto, se puede encontrar un punto máximo a partir del cual, como dice la teoría de la CKA, los incrementos del PIB per cápita ya no representarán más incrementos en los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que, por el contrario, el incremento en el ingreso per cápita tenderá a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de cierto nivel de ingresos; lo que coincide con la teoría de la CKA original.

### **3.3. Propuesta**

Como se revisó en secciones previas, han existido diversas aportaciones a la explicación de la relación entre las emisiones de contaminantes con algunas otras variables, lo que se conoce como la CKA ampliada, ya que a la propuesta original de la explicación de la CKA se agregan distintas variables que se cree, tienen algún efecto en la explicación del fenómeno.

En diversas investigaciones los autores proponen ampliar la explicación a través de variables como las exportaciones, la población, el uso de energía nuclear, área de bosque per cápita, producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, aportación industrial al PIB, calidad de las instituciones, regulación ambiental, avance tecnológico, capital, fuerza laboral, intensidad energética por sector, entre otras.

Para el caso de esta investigación se han utilizado además del PIB per cápita y PIB<sup>2</sup> (PIB per cápita al cuadrado) el consumo de energía eléctrica per cápita, porcentaje de energía proveniente de combustibles fósiles, exportaciones, importaciones y los ingresos por impuestos relacionados con el medio ambiente para la explicación de las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de un modelo de datos panel.

Se corrieron modelos de efectos fijos, efectos aleatorios y MLS de los que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9

Resultados de la Estimación de los Modelos FE, RE y MLS con variables propuestas

	FE		RE		MLS	
	Coef.	P< t	Coef.	P< z	Coef.	P< t
CO2	0.0000489	0.000	0.0000529	0.000	0.000058	0.032
CEE	0.2230459	0.000	0.2023008	0.000	.1828435	0.000
CFO	0.192047	0.042	0.0167785	0.084	0.0150201	0.454
EX	0.0080105	0.456	0.0085047	0.444	0.00859	0.709
IM	-0.0000346	0.000	-0.000031	0.000	-0.0000269	0.030
TAX	0.0000378	0.000	0.0000314	0.000	0.0000252	0.171
PIB	-2.31e-10	0.002	-1.79e-10	0.017	-1.29e-10	0.406
PIB2	-9.331591	0.000	-7.665244	0.000	-6.120813	0.004

Fuente: Estimación propia

Como puede observarse, los resultados expresados en la tabla anterior presentan signos y niveles de significancia muy similares entre el modelo de efectos fijos y el de efectos variables; no siendo así para el modelo de máxima verosimilitud, pues los resultados varían de los dos anteriores.

Se realizó la prueba de autocorrelación entre las variables que conforman estos modelos, en donde la hipótesis nula  $H_0$ :no existe autocorrelación de primer orden.

Esta prueba arrojó una  $F(1, 33)= 37.174$ , que es mayor que la F de tabla; rechazando así  $H_0$ . Esto que indica que existe autocorrelación en el panel, es decir, que cada dato de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo está relacionado con el dato anterior (Escalante Cortina, 2010); por lo tanto se corrieron modelos autorregresivos para corregir el problema de autocorrelación serial.

Tabla 10

Resultados de los Modelos Autorregresivos con las Variables Propuestas

Durbin Watson				
	FE		RE	
	Coef.	P< t	Coef.	P< z
CO2	0.0000679	0.003	0.0001046	0.000
CEE	0.225251	0.000	0.1762483	0.000
CFO	0.0001623	0.987	-0.0025806	0.789
EX	0.030138	0.003	0.0253197	0.015
IM	-0.000023	0.005	-0.0000164	0.030

PIB	0.0000363	0.004	0.0000368	0.003
PIB2	-2.41e-10	0.017	-2.040e-10	0.019
CONS	-9.936177	0.000	-6.398182	0.000
Durbin Watson en dos etapas				
	FE		RE	
CO2	Coef.	P< t	Coef.	P< z
CEE	0.0000654	0.004	0.000103	0.000
CFO	0.2253823	0.000	0.1752186	0.000
EX	0.0006481	0.948	-0.002208	0.827
IM	0.0300004	0.003	0.0249461	0.018
TAX	-0.0000236	0.004	-0.0000166	0.028
PIB	0.0000363	0.004	0.0000358	0.003
PIB2	-2.39e-10	0.017	-2.040e-10	0.021
CONS	-9.91211	0.000	-6.281515	0.000
Efecto individual de los residuales				
	FE		RE	
CO2	Coef.	P< t	Coef.	P< z
CEE	0.0000698	0.003	0.0001058	0.000
CFO	0.2251471	0.000	0.1769929	0.000
EX	-0.0001707	0.986	-0.0028299	0.778
IM	0.0302218	0.003	0.0255714	0.014
TAX	-0.0000226	0.007	-0.0000163	0.032
PIB	0.0000367	0.004	0.0000374	0.002
PIB2	-2.43e-10	0.018	-2.44e-10	0.017
CONS	-9.955047	0.000	-6.482683	0.000

*Fuente: Estimación propia*

Luego de analizar los resultados arriba mostrados, se puede deducir que el mejor modelo que sirve para la explicación de la relación entre las emisiones de CO2 a través de las variables independientes utilizadas (Consumo de energía, porcentaje de energía proveniente de combustibles fósiles, exportaciones, importaciones, impuestos relacionados con el medio ambiente, Producto Interno Bruto y esta última variable expresada al cuadrado) es el modelo de efectos aleatorios comprobando con Durbin Watson.

Se realizó la prueba de autocorrelación y se encontró que sí existe correlación entre las variables explicativas; por lo que se realizó un modelo dinámico a fin de que la estimación de los parámetros sea más eficiente. Para este caso se utilizó como variable instrumental el rezago de la variable dependiente, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 11

Resultados de la estimación del modelo dinámico de datos panel con variables instrumentales

	Wald Chi2(2)	774.71	
	Prob > chi2	0.0000	
CO2	Coef.	z	P< z
L1	0.2781409	9.11	0.000
CEE	0.000043	2.60	0.009
CFO	0.2031674	16.68	0.000
EX	0.0063299	0.75	0.455
IM	0.0388414	4.06	0.000
TAX	-0.0000399	-5.26	0.000
PIB	0.0000406	5.29	0.000
PIB2	-4.11e-10	-6.83	0.000
CONS	-10.85999	-11.59	0.000

*Fuente: Estimación propia*

De este resultado podemos obtener un modelo que incluye variables más significativas para la explicación del comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> para los países de la OCDE.

La muestra está compuesta por 509 observaciones y 34 grupos (individuos). Sobre la significancia de los coeficientes, se observa cómo las variables son todas significativas para explicar la variable dependiente (emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita), excepto las exportaciones.

El test de Wald comprueba la capacidad explicativa de las variables en su conjunto. Presenta una  $\text{prob} > \text{chi}^2 = 0.000$  lo que quiere decir que el total de regresores explican significativamente la variable dependiente.

El modelo reúne las condiciones necesarias para ser aceptado como válido.

Al incrementar el consumo de energía eléctrica, también incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub>; si la proporción de energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles incrementa en 1%, las emisiones de CO<sub>2</sub> tienden a disminuir en 0.2%. Por otra parte, si los volúmenes de exportación de las economías incrementan en 1%, entonces, las emisiones de CO<sub>2</sub> también incrementan en aproximadamente 0.006%.

Un dato que se debe resaltar es que los impuestos relacionados con el medio ambiente tienen un impacto benéfico en cuanto a la degradación ambiental

se refiere, es decir que, ante la creación de impuestos ambientales o relacionados con el ambiente, la degradación ambiental tiende a disminuir, teniendo efectos favorecedores en el medio ambiente y, en este caso, a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es decir, que, a mayor recaudación de impuestos relacionados con el ambiente, existe una tendencia a mejorar el medio ambiente, en este caso explicado a través de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estos resultados están relacionados con las expectativas y de acuerdo con la teoría revisada; pues normalmente el comercio tiene un impacto positivo en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En este caso, las exportaciones resultaron ser no significativas en la explicación del modelo, discordando de los resultados esperados de acuerdo a la teoría y de los resultados esperados basados en la experiencia de resultados previos de distintas investigaciones.

### **3.4. Discusión: comparación con estudios previos**

Como se revisó en secciones previas, han existido diversas aportaciones a la explicación de la relación entre las emisiones de contaminantes con algunas otras variables, lo que se conoce como la CKA ampliada, ya que a la propuesta original se le agregan otras variables explicativas. A continuación se hace una comparación de ambos.

Los resultados previamente descritos confirman la existencia de una CKA para los países de la OCDE en el periodo de 1995 a 2011 a través de un modelo dinámico de datos panel utilizando la forma convencional, en donde las emisiones de CO<sub>2</sub> se explican únicamente a través del PIB per cápita.

Los resultados que obtuvieron Piaggio y Padilla (2012) fueron similares a los obtenidos en esta investigación. Dichos autores, a través de un modelo de corrección de errores y un análisis de cointegración, encontraron que la CKA se cumple para 25 de los 31 países que estudiaron. Por otra parte, Esteve y Tamarit (2012) encontraron que se cumple la hipótesis de la CKA para España en el largo plazo, a través de un modelo de cointegración.

Así mismo, hay autores que han utilizado los modelos de datos panel para comprobar la hipótesis de la CKA. Entre ellos Poudel et al. (2009) quienes encontraron que para los países de América Latina y el Caribe en el periodo 1980-2000 a través de un modelo de efectos fijos, fueron distintos a los que se encontraron en este trabajo, pues la CKA de dichos autores tenía una forma de N para los países de la región; encontrando que esta forma es sensible si se remueven ciertos países.

Además, los resultados de Arbalú et al. (2015) con respecto al estudio de la CKA para los países de la Unión Europea entre 1997 y 2010 confirman que existe una relación en forma de U invertida entre el ingreso per cápita y la generación de desechos sólidos; es decir, que estos autores encontraron que se

cumple la teoría de la CKA con un indicador de degradación ambiental distinto al utilizado en este trabajo.

Los trabajos que se han mencionado arriba son los que se consideran más relevantes para la comparación de resultados pues utilizan el modelo básico de la CKA, encontrando diversos resultados, así como diversas formas de realizar las estimaciones de la relación existente entre los indicadores de contaminantes y el ingreso per cápita.

Otras investigaciones revisadas proponían incluir distintas variables para la explicación del comportamiento de la emisión de contaminantes. Es esta investigación se utilizaron variables como el consumo de energía eléctrica, porcentaje de esa energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles, exportaciones, importaciones e impuestos relacionados con el medio ambiente, encontrando que todas las variables utilizadas son significativas para la explicación de la emisión de CO<sub>2</sub> en los 34 países de la OCDE (excepto las exportaciones). Dichos resultados se obtuvieron a través de la elaboración de un modelo dinámico de datos panel para un periodo de 1995 a 2011.

La idea de utilizar dichas variables como explicativas surgió del análisis de estudios previos, como el de Egli y Steger (2007), cuyo modelo específico se utiliza para comprender cuándo ocurre el nivel máximo de contaminación derivado de otros factores que no solo considera al ingreso per cápita, sino también considerar a los factores de preferencia de un ambiente más limpio, los rendimientos crecientes a escala por el uso de nuevas tecnologías y la magnitud de otros factores externos. Este planteamiento se fundamenta en un modelo dinámico que no sólo indica una relación de U invertida entre contaminación e ingreso per cápita, sino que también es compatible al crecimiento económico y a la mejora sostenida del medio ambiente a lo largo del tiempo.

Farhani et al. (2014) utilizaron igualmente un modelo de datos panel en el cual incluyeron variables como la energía, el comercio, la manufactura, el valor agregado y el papel que juega la ley; encontrando que tiene implicaciones estadísticas importantes.

Así mismo Apergis y Ozturk (2015), utilizando un modelo de datos panel para 14 países asiáticos en el periodo 1990-2011, encontraron que la hipótesis de la CKA se cumple en la región estudiada, aportando soporte teórico al utilizar variables como la densidad de población, la tierra, la aportación de la industria al PIB y otros indicadores que intentan medir la calidad de las instituciones.

Para Tutulmaz (2015) es muy importante la generación de políticas que consideren este tipo de análisis a pesar de que exista gran diversidad en la estimación; posiblemente por las restricciones de los modelos y propone que la CKA se estime de manera no restrictiva.

Otros autores, cuyos trabajos se exponen brevemente a continuación, utilizaron otras metodologías, encontrando diversidad en los resultados. Por ejemplo, el trabajo realizado por Robalino et al. (2015) que se basa en la identidad



de Kaya y utiliza variables como la intensidad energética por sector, expone que la hipótesis de la CKA no se cumple para Venezuela, lo cual justifica por la carencia de complementación de estabilidad y crecimiento económico, uso de energías renovables, cambios en la generación de energía y en la estructura sectorial productiva.

Al-Mulali et al. (2015) a través del método de cointegración, encontraron que la hipótesis de la CKA no existe en Vietnam, pues el incremento de los ingresos aumenta la contaminación. Así mismo, afirman que las importaciones aumentan la contaminación, lo que indica que la mayor parte de los productos importados de Vietnam son grandes consumidores de energía y altamente contaminantes; sin embargo, las exportaciones no son suficientemente importantes como para afectar la contaminación. Por otra parte, la contaminación proveniente de combustibles fósiles aumenta el consumo de energía, mientras que el consumo de energía renovable no tiene ningún efecto significativo en la reducción de la contaminación. De igual manera, la fuerza de trabajo reduce la contaminación ya que la mayoría de la fuerza laboral de Vietnam se encuentra en los sectores agrícolas y de servicios. Con base en estos resultados, la hipótesis de la CKA no existe porque la relación entre el PIB y la contaminación es positiva, tanto en el corto como en el largo plazo.

Con dicho trabajo se encuentran similitudes, pues a pesar de utilizar otra metodología, existe una relación positiva entre el consumo de energía, el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles y el PIB; con las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Otro ejemplo de similitud se encuentra con el trabajo realizado por Ben Jebli y Ben Youssef (2015), quienes a través de un modelo de cointegración utilizan además del PIB per cápita variables como el uso de energía renovable y no renovable, y el comercio internacional para Tunisia entre 1980 y 2009. En este trabajo se encontró que el comercio tiene un efecto positivo en las emisiones de CO<sub>2</sub>; sin embargo, la CKA no soporta gráfica ni analíticamente la hipótesis de la CKA en el largo plazo.

Otro ejemplo fue el obtenido del trabajo de Bölük y Mert (2015), quienes agregaron la producción de energía eléctrica y utilizaron un modelo de distribución de rezagos autorregresivos; en donde encontraron que la energía de electricidad a partir de fuentes renovables es significativa y negativa en el largo plazo; pero que ese mismo efecto es positivo y estadísticamente significativo en el corto plazo para el caso de Turquía y en cuyo caso fueron utilizados datos de 1961 al 2010, esperando que el punto de inflexión de la CKA se alcanzara en los próximos años, derivado del incremento del PIB per cápita.

Otro trabajo importante de mencionar es el realizado por Yin et al (2015) para China en un periodo de 2000 a 2012, en donde se detectó que el avance tecnológico beneficia a la reducción de las emisiones; así como la evidencia encontrada de que la eficiencia energética, la estructura energética y la estructura de la industria tiene distintos impactos en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, su modelo se basaba en un modelo de mínimos cuadrados generalizados al cual se le

agrega la regulación ambiental y el progreso tecnológico; encontrando un efecto modelador para la membresía de los impactos de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En 2003, Roca y Padilla encontraron que la relación entre las emisiones y el PIB se ve significativamente influida por dos factores que actúan en sentido contrario: la proporción de carbón respecto al total de energía primaria que, cuando aumenta, hace aumentar las emisiones; por otro, la importancia relativa de la energía nuclear que afecta en sentido contrario. Con este trabajo se encontró que los cambios endógenos son los que provocan que se cumpla la curva de CKA a través de la observación de 8 diversos contaminantes atmosféricos.

Y así se podrían seguir enlistando trabajos que tienen similitudes en el uso de la metodología o en el uso de variables explicativas, aunque con métodos diferentes. Sin embargo, no hay una solución de una sola forma definida de que se ajuste a todas las economías, pues son diferencias estructurales. Las variables afectan directamente a la relación entre la contaminación y el nivel de ingresos.

La hipótesis de la CKA ha sido probada con información heterogénea entre países al trabajar con series no estacionarias en algunos caos. Los trabajos que asumen homogeneidad en la forma funcional, en los parámetros y en el punto de inflexión entre países en realidad podrían no estar reflejando el comportamiento de la relación entre degradación ambiental y el nivel de actividad en forma individual.

Se deben interpretar con cautela los trabajos que relacionan al CO<sub>2</sub> y la actividad económica sin considerar las propiedades de no estacionalidad de las series. Es posible que se deban usar series de tiempo más largas para que se pueda rechazar la homogeneidad.

La mayoría de los estudios realizan una forma funcional paramétrica de capturar el potencial no lineal, lo que puede dañar la estimación y sobre todo a su restricción.

Algunos autores (Roca y Padilla, 2003; Arbalú, Lozano y Rey-Maqueira, 2015; Paggio y Padilla, 2012 y Bölük y Mert, 2015) sugieren que la CKA sólo se cumple en el caso de contaminantes con efectos locales y de corto plazo. Para el caso de contaminantes globales y de largo plazo, la presión ambiental aumenta con el nivel de ingresos. Mientas que He y Wang (2011) afirman que este tipo de análisis se puede realizar solo para algunos países desarrollados.

Del presente trabajo se puede decir que, la información ha sido heterogénea pues, aunque se trata de un grupo de países que son considerados con mayor desarrollo que el resto del mundo, se encuentran disparidades entre ellos. Así mismo, se deja de considerar a China, que es uno de los países con mayor crecimiento y por lo tanto con mayor generación de desechos locales y globales, así como otras economías en crecimiento. Esta omisión limita la investigación al no considerar al mayor país contaminante del mundo, lo cual es preocupante pues se trata de una economía con un ritmo de crecimiento impresionante con respecto al nivel mundial.

Por otra parte, en diversas investigaciones se propone el uso de variables explicativas relacionadas con la normatividad que procura el cuidado y protección del medio ambiente; sin embargo, para el periodo estudiado no se pudo encontrar dicha información para todos los países y, por lo tanto, se desechó la posibilidad de integrarlo al panel de datos. En cambio, se agregó la variable de los impuestos relacionados con el medio ambiente, la cual resultó ser estadísticamente significativa para la explicación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países de la OCDE.

Con respecto a las exportaciones, al igual que en los estudios realizados por Ben Jebli y Ben Youssef (2015) y Al-Mulali et al. (2015), el impacto es estadísticamente no significativo, es decir que, las exportaciones no afectan a la contaminación, lo que indica que el nivel de exportaciones no es relevante como para afectar a la contaminación.

Estudios recientes de la OCDE (2016) demuestran que “los países con leyes ambientales rigurosas tienen una desventaja muy pequeña en sectores muy contaminantes, como la fabricación de acero, productos químicos, plásticos y productos combustibles. Esto se compensa con la ventaja que se adquiere en industrias más ecológicas”. Es decir, que a medida que los gobiernos consideran formas de hacer más firme la regulación ambiental, los costos más altos en términos de comercio son para aquellos países que tienen industrias más contaminantes. Sin embargo, a través de los estudios de la OCDE se estima que en el largo plazo saldrán más perjudicadas aquellas economías que no opten por políticas más rigurosas en materia ambiental, pues impulsan a las empresas para que sean más innovadoras, al mejorar tanto en su desempeño económico como en su eco-eficiencia. Sin embargo, el pensamiento común sugiere la hipótesis del *Refugio de la Contaminación* (OCDE, 2016) indica que al hacer más estrictas las leyes ambientales se induce a los fabricantes a simplemente trasladar algunas etapas de su producción hacia países cuya reglamentación es más laxa.

Lo que sugiere la OCDE es dejar de trabajar en el supuesto de que una reglamentación más estricta afectará su participación en las exportaciones y centrarse en las ventajas que se pueden tener de la innovación.

## CONCLUSIONES

Se ha comprobado la hipótesis para la CKA y la CKA aumentada para los países de la OCDE durante el periodo comprendido entre 1995 y 2011 a través de modelos dinámicos de datos panel.

Existe un efecto significativo del consumo de energía eléctrica, la energía proveniente de combustibles fósiles, las importaciones, los impuestos relacionados con el ambiente y el PIB per cápita en la emisión de CO<sub>2</sub>, gas con mayor participación en el efecto invernadero, causante de incrementos en la temperatura al rededor del mundo, acidificación del océano, efectos relacionados con el clima, aumento de la temperatura de la superficie de la tierra y del nivel del mar, así como fenómenos naturales de magnitudes más desastrosas.

Aunque se reconoce que la relación puede ser diferente para diferentes países, los países que conforman la OCDE son los responsables de más del 40% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> (OCDE, 2013), razón por la cual es relevante conocer el impacto que el PIB per cápita y otras variables utilizadas en este trabajo tienen sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en estos países desarrollados y en crecimiento constante.

Las estimaciones de la hipótesis de la CKA en distintos países se deberían considerar como una herramienta importante para la construcción efectiva de políticas ambientales; pues se ha observado que la regulación ambiental tiene un efecto moderador de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Como implicación política, se deben tomar algunas medidas para reducir la contaminación ambiental sin algún sacrificio para el crecimiento económico de los países. Algunas de estas medidas tienen que ver con la reducción de los gases de efecto invernadero que provienen de la industria, el transporte y el calor, el incremento del uso del biodiesel y la aplicación de tecnologías ambientales.

No se espera que las políticas sean aplicadas de manera homogénea en los países, pues tendrían diferentes impactos dependiendo de la etapa de desarrollo en que se encuentre cada país e incluso la estimación de su posición en la CKA.

Un mayor ingreso per cápita representa una evolución tecnológica que implica la reducción de presiones ambientales. A su vez, el avance tecnológico, que puede verse reflejado en la producción de bienes y servicios bajo normas más estrictas de protección al ambiente, propicia que los productores innoven y por lo tanto se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> y, en general, de diversos contaminantes que degradan la calidad ambiental a nivel local y global, en el corto y el largo plazo. Dicho impacto se puede apreciar en el coeficiente de las exportaciones para el modelo dinámico, pues resulta ser no significativo a causa de que las exportaciones que realizan los países de la OCDE son en general bajo normas más estrictas de protección al ambiente, por lo que no contribuyen de manera importante a la contaminación del medio ambiente y específicamente a la emisión de CO<sub>2</sub>.

Es posible que la razón por la que exista la CKA para los países de la OCDE derive de la exportación de problemas ambientales a otros territorios, en donde las regulaciones ambientales sean más laxas que en estos países.

Así mismo, el uso de energía eléctrica y más aún de la energía proveniente de combustibles fósiles incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub> por lo que sería importante reducir el uso de esta fuente de energía y que las economías opten por energías provenientes de fuentes alternativas con fuentes como la energía solar o eólica, promoviendo la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, la evidencia sugiere que la CKA sólo se cumple en caso de contaminantes con efectos locales y de corto plazo; mientras que para el caso de contaminantes globales y de largo plazo la presión ambiental aumenta con el nivel de ingresos.

La evolución de la estructura de la demanda genera menor presión ambiental a medida que aumenta el ingreso per cápita. Es decir, son las preferencias de los individuos las que explican que, una vez que se alcanza un determinado nivel de ingreso, cambia la combinación entre bienes y servicios producibles y calidad ambiental, de forma que deciden consumir “más calidad ambiental”.

Es cierto que se comprueba la hipótesis de la CKA, por lo tanto existe un nivel de ingresos a partir del cual las preferencias de consumo se verán modificadas; sin embargo, no se debería esperar más tiempo hasta alcanzar los niveles de ingresos en donde se alcance el punto de inflexión de la curva en forma de U invertida para proteger al medio ambiente y encontrar la armonía entre lo ecológico y lo económico.

## REFERENCIAS

- Alier, J., & Roca, J. (2000). *Economía Ecológica y Política Ambiental*. México: PNUMA. Fondo de Cultura Económica.
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy Policy*(76), 123-131. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de [http://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v\\_3a76\\_3ay\\_3a2015\\_3ai\\_3ac\\_3ap\\_3a123-131.htm](http://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v_3a76_3ay_3a2015_3ai_3ac_3ap_3a123-131.htm)
- Andreoni, J., & Levison, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 80(2), 269-286.
- Angulo Guerrero, A. J. (2010). Relación entre crecimiento económico y medio ambiente: la U ambiental de Kuznets. (J. C. Coll, Ed.) *Desarrollo Local Sostenible*, 3(8).
- Apergis, N., & Ozturk, I. (2015). Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis in Asian countries. *Ecological Indicators*, 52, 16-22. Recuperado el 29 de Septiembre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14005615>
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment. *The Review of Economic Studies*, 2(58), 277-297.
- Baltagi, B. (2005). *Econometric analysis of panel data*. Inglaterra: John Wiley & Sons.
- Banco Mundial. (1992). *World Development Report*. New York: Oxford University Press.
- Banco Mundial. (2015). *El Banco Mundial*. Recuperado el 5 de diciembre de 2015, de Series específicas de datos: <http://datos.bancomundial.org/quienes-somos/preguntas/series-datos>
- Banco Mundial. (2015). *El Banco Mundial*. Recuperado el 2015, de [bancomundial.org: http://datos.bancomundial.org/catalogo-de-datos](http://datos.bancomundial.org/catalogo-de-datos)
- Banco Mundial. (2015). *El Banco Mundial*. Recuperado el 2015, de [bnacomundial.org: http://datos.bancomundial.org/catalogo-de-datos](http://datos.bancomundial.org/catalogo-de-datos)
- Banco Mundial. (2015). *Estructura de la Demanda*. Obtenido de Banco Mundial: <http://wdi.worldbank.org/table/4.8>
- Banco Mundial. (2015). *Producción y Uso de Energía*. Obtenido de WDI World Bank: <http://wdi.worldbank.org/table/3.6>
- Beckerman, W. (1992). *Economic development and the environment: conflict or complementarity? Background paper for World Development Report 1992*. Washington D.C.: World Bank.

Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2015). The environmental Kuznets curve, economic growth, renewable and non-renewable energy, and trade in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(47), 173-185. Recuperado el 19 de Septiembre de 2015, de <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/61282/>

Böhringer, C., Rutherford, T. F., Tarr, D. G., & Turdyeva, N. (2014). *The Environmental Implications of Russia's Accession to the World Trade Organization*. Sustainable Development Department, Europe and Central Asia Region. The World Bank. Recuperado el 2015, de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/19365/WPS6957.pdf?sequence=1>

Bölük, G., & Mert, M. (Julio de 2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: An ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007856>

Cambio Climático Global. (2014). *CambioClimaticoGlobal.com*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de Informando sobre el calentamiento global desde 1997: <http://cambioclimaticoglobal.com/>

Cantos, J. M., & Balsalobre Lorente, D. (2011). Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: una aplicación para España. (A. I. Aplicada, Ed.) *Estudios de Economía Aplicada*, 29(2), 1-31.

Cole, M. (2004). Trade, the pollution-haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages. *Ecological Economics*, 48(1), 71-81.

Correa Restrepo, F., Vasco Ramírez, A. F., & Pérez Montoya, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: Evidencia empírica para Colombia. *Semestre Económico*, 8(15).

Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of economic Perspectives*(16), 147-168.

Del Rio, P. (2000). *Universidad de Castilla La Mancha*. Recuperado el 23 de diciembre de 2014, de <http://www.ucm.es/>

Díaz Vázquez, M. R., & Cancelo, M. T. (2009). Emisiones de CO2 y azufre y crecimiento económico ¿Una curva de Kuznets Ambiental? *Regional and Sectorial Economics Studies*, 9(2), 97- 116. Recuperado el 14 de Febrero de 2015, de <http://www.usc.es/economet/reviews/eers927.pdf>

Díaz Vazquez, M., & Cancelo, M. (2009). Emisiones de CO2 y azufre y crecimiento económico: ¿Una curva de Kuznets ambiental? *Regional and Sectorial Economic Studies*, 9(2), 97-116.

Duro, J. A., Teixidó Figueras, J., & Padilla, E. (2014). Empirics of the International Inequality in CO2 Emissions Intensity: Explanatory Factors

According to Complementary Decomposition Methodologies. *Science + Business MEdia Dordrecht*. doi:10.1007/s10640-014-9840-6

Eco-innovation observatory. (2013). *The Eco-Innovation Scoreboard*. Obtenido de <http://www.eco-innovation.eu/>: [http://www.eco-innovation.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=34](http://www.eco-innovation.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=34)

Egli, H., & Steger, T. (2007). A dynamic model of the environmental Kuznets curve: turning point and public policy. *Environmenta & Resource Economics*, 36(1), 15-34.

Ekins, P. (2000). *Economic growth and environmental sustainability: the prospects for green growth*. Rowledge, London.: Chapter 3.

Escalante Cortina, R. D. (2010). *Manual de aplicación del modelo de regresión lineal múltiple con correcciones de especificación, usos de Stata 9.0, Stata 10.0, Eviews 5.0, SSPS 11.0*. Eumed. Recuperado el 3 de Febrero de 2016, de [www.eumed.net/libros/2010c/720/](http://www.eumed.net/libros/2010c/720/)

Esteve, V., & Tamarit, C. (2012). Threshold cointegration and nonlinear adjustment between CO2 and income: The Environmental Kuznets Curve in Spain, 1857-2007. *Energy Economics*, 34, 2148-2156. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://147.156.1.4/~estevv/DT-E-2011-04.pdf>

Farhani, S., Meizak, S., Chaibi, A., & Rault, C. (2014). The environmental Kuznets curve and sustainability: A panel data analysis. *Energy Policy*(71), 189-198. Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514002651>

Georgescu-Roegen, N. (1971). *The entropy Law and the Economic Process* (University Press ed.). Cambridge, Harvard.

Gitli, E., & Hernández, G. (2002). La existencia de la Curva de Kuznets ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales. *Centro Internacional de Política Económica de la Universidad Nacional de Costa Rica*.

González, P. (18 de noviembre de 2014). *Guioteca ¿Qué quieres saber?* Obtenido de <http://www.guioteca.com/>: <http://www.guioteca.com/educacion-para-ninos/ciclo-del-carbono-sabes-en-que-consiste/>

GreenFacts. (2007). *Cambio Climático. Resumen del Informe de Evaluación 2007 del IPCC*. Bruselas, Bélgica: GreenFacts. Recuperado el 23 de Octubre de 2015, de <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico-ie4/climate-change-ar4-foldout-es.pdf>

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (Mayo de 1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.

Grossman, G., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impact of North American Free Trade Agreement*. Cambridge, MA.: National Bureau of Economic



Reserch. Recuperado el 2014 de Diciembre de 14, de <http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>

He, J., & Wang, H. (2011). *Economic Structure, Development Policy and Environmental Quality. An Empirical Analysis of Environmental Kuznets Curves with Chinese Municipal Data*. Development Research Group, Environment and Energy Team. The World Bank. Recuperado el Agosto de 2015, de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/3517/WPS5756.pdf?sequence=1>

INE. (2014). *Instituto Nacional de Estadística*. Recuperado el 2 de septiembre de 2015, de [www.ine.cl: http://www.ine.cl/canales/menu/OCDE/Queesla\\_OCDE/Queesla\\_OCDE.pdf](http://www.ine.cl:www.ine.cl/canales/menu/OCDE/Queesla_OCDE/Queesla_OCDE.pdf)

INE. (1 de Diciembre de 2014). *Instituto Nacional de Estadísticas. Chile*. Obtenido de [http://www.ine.cl/canales/menu/OCDE/Queesla\\_OCDE/Queesla\\_OCDE.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/OCDE/Queesla_OCDE/Queesla_OCDE.pdf)

InspirAction. (2013). *InspirAction*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de Por un mundo libre de pobreza: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/efecto-invernadero>

Johansson, P., & Kriström, B. (2007). On a clear day you might see an environmental Kuznets curve. *Environmental Resource Economy*, 37(1), 77-90.

Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *American Economic Review*, 45(1), 1-28.

Labra, R., & Torrecillas, C. (2014). *Guía CERO para datos de panel. Un enfoque práctico*. (C. U.-A. Innovación, Ed.) Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado el Marzo de 2016, de [https://www.uam.es/docencia/degim/catedra/documentos/16\\_Guia%20CERO%20para%20datos%20de%20panel\\_Un%20enfoco%20practico.pdf](https://www.uam.es/docencia/degim/catedra/documentos/16_Guia%20CERO%20para%20datos%20de%20panel_Un%20enfoco%20practico.pdf)

Labra, R., & Torrecillas, C. (2014). *Guía CERO para datos de panel. Un enfoque práctico*. Madrid: UAM-Accenture Working Papers.

López, R. (1994). The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 163-184.

Low, P., & Yeats, A. (1992). Do 'Dirty' industries migrate? En P. Low (Ed.), *International trade and the environment* (págs. 89-103). Washington, D.C.: International trade and the environment.

Lozano, J., Rey-Maqueira, J., & Arbulú, I. (Abril de 2015). Tourism and solid waste generation in Europe: A panel data assessment of the Environmental Kuznets Curve. *Elsevier*. Recuperado el Septiembre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1500286X>

Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 23 de Agosto de 2015, de [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf)

McConnell, K. (1997). Income and demand for environmental quality. *Environment and Development Economics*, 2, 383-399.

OCDE. (2015). Obtenido de Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico: <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>

OCDE. (10 de Marzo de 2016). *Las leyes ambientales más estrictas no afecta la competitividad de las exportaciones - estudio de la OCDE*. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de OCDE, Mejores Políticas para una Vida Mejor: <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/las-leyes-ambientales-mas-estrictas-no-afectan-la-competitividad-de-las-exportacionesocde.htm>

OECD. (2006). *The Political Economy of Environmentally Related Taxes*. París: OECD. Recuperado el 28 de Enero de 2016, de [http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/the-political-economy-of-environmentally-related-taxes\\_9789264025530-en#page4](http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/the-political-economy-of-environmentally-related-taxes_9789264025530-en#page4)

OECD. (2009). *OECD Factbook 2008 Estadísticas económicas, ambientales y sociales*. OECD. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de <https://books.google.com.mx/books?id=0iQCCBbuRR0C&pg=PA180&lpg=PA180&dq=la+reducci%C3%B3n+no+estabiliz%C3%B3+las+emisiones+mundiales+ya+que+se+incrementaron+las+emisiones+de+los+pa%C3%ADses+en+desarrollo&source=bl&ots=jKeguz-btB&sig=WjtMQ82Le1N5-oloiJICo5>

OECD. (2013). *OCDE Factbook 2013. Estadísticas económicas, sociales y ambientales*. España: OCDE. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de <https://books.google.com.mx/books?id=ezDWAgAAQBAJ&pg=PA180&lpg=PA180&dq=OCDE+emisiones+de+CO2&source=bl&ots=Ddjw3KUYVx&sig=eHTJU-nvG5e-RswpbEhE-gVwHIA&hl=es&sa=X&ved=0CDEQ6AEwBGoVChMI8fDNg-D7yAIVitQmCh2tbgoL#v=onepage&q&f=false>

OECD. (2014). *www.oecd.org*. Recuperado el 6 de Diciembre de 2015, de <http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/environmental-taxes.htm>

OECD. (2015). *Members and partners*. Obtenido de [www.oecd.org](http://www.oecd.org/about/membersandpartners/): <http://www.oecd.org/about/membersandpartners/>

Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2008). *¿Cuál es tu impacto?* Obtenido de *¿Cuáles son los principales gases de efecto invernadero?*: <http://www.tuimpacto.org/principales-gases-de-efecto-invernadero.php>

Pereyra, A. y. (1996). *Los bienes ambientales ¿constituyen un bien de lujo?* Uruguay: Universidad de la República.

Pérez Suárez, R., & López Menéndez, A. J. (2015). Growing green? Forecasting CO2 emissions with Environmental Kuznets Curves and Logistic

Growth Models. *Environmental Science & Policy*, 54, 428-437. Recuperado el 18 de Septiembre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115300411>

Piaggio, M., & Padilla Rosa, E. (2012). Emisiones de CO2 y actividad económica: Heterogeneidad entre países y series no estacionarias. *XIII Jornadas de Economía Crítica*, (págs. 335- 362). Sevilla. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ec/jec13/Ponencias/economia%20ecologica%20y%20medio%20ambiente/EMISIONES%20DE%20CO2%20Y%20ACTIVIDAD%20ECONOMICA.pdf>

Piaggio, M., Alcántara, V., & Padilla, E. (Abril de 2012). Economic structure and key sectors analysis of greenhouse emissions in Uruguay. *Departament d'economia aplicada*(12.04). Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.iecon.ccee.edu.uy/economic-structure-and-key-sectors-analysis-of-greenhouse-gas-emissions-in-uruguay/publicacion/453/es/>

Pittel, K. (2006). A Kuznets curve for recycling. En W. p. 06/52 (Ed.), *Center of economic research at ETH Zurich*. Economics Working Paper Series.

Poudel, B. N., Paudel, K. P., & Bhattarai, K. (Abril de 2009). Searching for an Environmental Kuznets Curve in Carbon Dioxide Pollutant in Latin American Countries. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(1), 13-27. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/48759/2/jaae173.pdf>

Quishpe Sinailin, P. D. (2005). *Crecimiento económico y su relación con la calidad ambiental en el Ecuador : la curva de Kuznets medio ambiental*. Quito: FLACSO Sede Ecuador.

Ravallion, M. (2000). *Carbon emissions and income inequality*. Oxford Economic Papers.

Robalino Lopez, A., Mena-Nieto, Á., García-Ramos, J. E., & Golpe, A. A. (2015). Studying the relationship between economic growth, CO2 emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980-2025). *Renewable and Sustainable Energy Review*(41), 602-614. Recuperado el 5 de Octubre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114007679>

Roca Jusmet, J., & Padilla Rosa, E. (2003). Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el protocolo de Kyoto. *Economía Industrial, III*(351), 73-86. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia05.pdf>

Roca, J., & Serrano, M. (2006). Incomer growth and atmospheric pollution in Spain: an Input-Output approach. *Ecological Economics*, 45.

Roca, J., Padilla, E., Farre, M., & Galetto, V. (2001). Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis. *Ecological Economics*, 39, 85-99.

Rothman, D., & De Bruyn, S. (1998). Special issue: the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2).

Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence*. Washington D.C.: World Bank.

Shakif, N. (1994). Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46(5), 757-773.

Stern, D. (1998). Progress on the environmental Kuznets curve? *Environment and Development Economics*, 3(1), 173-196.

Stokey, N. (1998). Are There Limits to Growth? *International Economic Review*, 25(2), 195-208.

Suri, V., & Chapman, D. (1998). Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2).

Toledo, W. (2015). Una introducción a la econometría con datos de panel. *Ensayos y Monografías*(152), 30. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de <http://economia.uprrp.edu/Ensayo%20152.pdf>

Trujillo Lora, J. C., Carrillo Bermúdez, B., Charris Vizcaíno, C. A., & Iglesias Pinedo, W. J. (Diciembre de 2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC): An analysis landfilled solid waste in Colombia. *Facultad de Ciencias Económicas*, XXI(2), 7-16. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90930501002>

Tutulmaz, O. (2015). Environmental Kuznets Curve time series application for Turkey: Why controversial results exist for similar models? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 73-81. Recuperado el Agosto de 2015

UNED. (11 de junio de 2013). *UNED Biblioteca*. Obtenido de Energía y Desarrollo Sostenible: <http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm>

Wang, L., Zhou, D., Wang, Y., & Zha, D. (2015). An empirical study of the environmental Kuznets curve for environmental quality in Gansu province. *Ecological Indicators*, 56, 96-105. Recuperado el Agosto de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X15001478>

World Justice Project. (2008). *World Justice Project*. Obtenido de <http://worldjusticeproject.org/>: <http://worldjusticeproject.org/what-rule-law>

Yin, J., Zheng, M., & Chen, J. (2015). The effects of environmental regulation and technical progress on CO2 Kuznets Curve: An evidence from China.

*Energy Policy*(77), 97-108. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514005886>