



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN ECONOMÍA

*Estimación y proyección econométrica de la Curva de Kuznets  
Ambiental para México (1965-2014).*

## ENSAYO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
Especialista en Econometría Aplicada

PRESENTA:  
Francisco Guillermo Infante Solís

TUTOR:  
Dr. Eduardo Gilberto Loría Díaz de Guzmán

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Junio 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS:**

**A DIOS POR LA CULMINACIÓN DEL POSGRADO Y POR DARME EL CONOCIMIENTO EN LOS TIEMPOS DIFÍCILES.**

**A MIS ABUELOS ALEJANDRO SOLIS PERALTA Y JOSEFINA AVILÉS PIMENTEL QUE ME HAN APOYADO CON MIS ESTUDIOS Y ME HAN ENSEÑADO EL VALOR Y LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.**

**A MI MADRE BEATRIZ SOLIS GÓMEZ POR SUS ORACIONES A DIOS Y POR SU AMOR INCONDICIONAL.**

**A MIS TÍAS ELIZABHET SOLIS AVILÉS Y EDITH ALEJANDRA SOLIS AVILÉS POR SU CARIÑO Y APOYO.**

**A MI PROFESOR EDUARDO GILBERTO LORÍA DÍAZ DE GUZMÁN POR SU DEDICACIÓN, TALENTO Y PACIENCIA.**

# Estimación y proyección econométrica de la Curva de Kuznets Ambiental para México (1965-2014).

"¿Después de todo qué es el hombre en la naturaleza?, nada en relación con la infinidad, todo en relación a la nada. Un punto central entre la nada y el todo e infinitamente lejos de entender la diferencia entre estas dos posturas".

Blaise Pascal

Francisco Guillermo Infante Solís

## Resumen

Se presenta un modelo econométrico con el Método Generalizado de Momentos para el caso de México en el periodo (1965-2014). Se comprueba la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para México; a medida que aumenta el ingreso en la economía, las emisiones de dióxido de carbono tenderán a incrementar, y eventualmente, disminuirán dados los efectos del crecimiento económico; esto implicaría una curva U invertida. Asimismo, se encontró un punto de inflexión para México de \$ 107,615 pesos per cápita. En adición, se demostró que, la creación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) ha tenido efectos reductivos en las emisiones de dióxido de carbono. Además, se hizo una proyección de escenario a 10 años con una tasa anual promedio de crecimiento económico per cápita del 1.13% para dos escenarios: uno que incluye la política ambiental de la LGEEPA y el otro no la incluye. Se concluye que, la CKA es aplicable para la reducción relativa del contaminante en estudio; sin embargo, son las políticas ambientales las cuales tienen mayores efectos reductivos en la contaminación ambiental.

**Palabras Clave:** Cambio Climático, Curva de Kuznets Ambiental, Economía Ambiental, Emisiones, Medio Ambiente y Desarrollo, Método Generalizado de Momentos.

**Clasificación JEL:** C26, C51, Q530, Q540, Q560.

## Abstract

An economic model is presented with the estimation of the Generalized Method of Moments with the justification of its use from the resolution of problems of Autocorrelation and constant Heteroscedasticity for the case of Mexico in the period (1965-2014). Check the hypothesis of the Environmental Kuznets curve (CKA) for Mexico and calculate the critical values of the inverted U; with a per capita income of \$ 9.213,33 dollars. Likewise, it was found that the creation of the General Law of Ecological Equilibrium and Environmental Protection (LGEEPA) has had a reducing effect on carbon dioxide emissions. In addition, a 10-year scenario projection was made with an annual economic growth rate of 1.13% for two scenarios: one includes the environmental policy of the LGEEPA and the other does not include it. It is concluded that the CKA is applicable for the relative reduction of the pollutant under study; however, it is the environmental policies that have the greatest reductive effects on environmental pollution.

**Keywords: Climate Change, Environmental Kuznets Curve, Environmental Economics, Emissions, Environment and Development, Generalized Moments Method.**

**JEL Classification: C26, C51, Q530, Q540, Q560.**

## Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. La Curva de Kuznets Ambiental: una revisión conceptual.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Fundamentos de la sustentabilidad en la CKA.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Revisión de la literatura.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Hechos estilizados.....</b>	<b>15</b>
<b>5. Marco econométrico.....</b>	<b>22</b>
<b>6. Desarrollo Económico vs Dilemas Ambientales.....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>33</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>37</b>

## Introducción

El cambio climático es un problema que afecta a nivel global; varios países han fijado políticas ambientales para reducir el daño de las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. Entre las numerosas propuestas para lograr mitigar el cambio climático se encuentra el desarrollo sostenible (es el desarrollo económico que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras), en el cual se muestra que, para disminuir la generación de contaminantes en el medio ambiente es necesario que la economía crezca y se desarrolle, para llegar a tal punto de desarrollo en el cual la contaminación irá reduciéndose debido al nivel avanzado de las tecnologías “limpias” y “amigables” con el medio ambiente.

El desarrollo sostenible planea brindar las mismas oportunidades para las generaciones futuras en base a políticas ambientales adecuadas que optimicen los recursos a largo plazo. Dejar un por venir a nuestras próximas generaciones, dejarles el mayor bienestar económico posible, así como el bienestar ambiental; eso es la gran máxima del desarrollo sostenible.

Sin embargo, existen actividades que contradicen los principios del desarrollo sostenible induciendo al agotamiento de los recursos, por ejemplo, la erosión masiva del suelo, el azolvamiento de los ríos, la destrucción de tierras pantanosas y manglares, plagas urbanas, aguas sucias, extinción de especies, y por último, el cambio climático. Por lo tanto, el crecimiento económico que reduzca la degradación de los activos ambientales; es compatible con el desarrollo sostenible.

Para alcanzar un desarrollo sostenible es importante considerar que, exista la desvinculación positiva, es decir, cuando una unidad de ingreso per cápita produce un menor impacto ambiental; esto es posible con las políticas ambientales correctas, en este trabajo se pretenderá probar este supuesto.

Existe evidencia acerca de que el crecimiento económico es la alternativa para solucionar ciertos problemas ambientales, como puede ser el incremento desmedido de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Entre dicha evidencia destaca la importancia del incremento de la renta de una nación, que si bien, el crecimiento del ingreso per cápita provocará en un inicio el aumento de la contaminación, en el largo plazo incitará a la reducción de la contaminación ambiental, en esto radica a lo se le conoce como Curva de Kuznets Ambiental (CKA); es decir, a medida que la economía en estudio alcanza un nivel óptimo de desarrollo económico, los gases contaminantes disminuirán ostensiblemente si se cumple la relación de la CKA; esto se da debido a los efectos de escala, de composición y tecnológicos en una economía.

Varios estudios agregan diversos indicadores ambientales para una mejor estimación del modelo. Varios investigadores han demostrado que para varios países desarrollados la CKA se aplica; sin embargo, son pocos los estudios que demuestran evidencia empírica para países en desarrollo, regularmente, no se encuentran evidencias para las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sí para otros gases de efectos invernadero, por ejemplo: metano, dióxido de azufre u óxido nitroso. Por consiguiente, la justificación de esta investigación es determinar de manera empírica si existe una relación de la CKA para las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 1965-2014.

De igual modo, los objetivos son proyectar un escenario prospectivo para los siguientes 10 años posteriores al 2014, asumiendo que, el PIB per cápita incrementará en 1.13% anual en promedio para los próximos años; se proyectan dos escenarios: uno que incluye política ambiental y otro que no la incluye. Asimismo, se determina el punto máximo de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita.

En la sección 1 se abordarán los aspectos teóricos de la CKA, en donde se abordan los aspectos teóricos de Grosman y Krueger. En la sección 2 se presentan los argumentos que sostienen la posibilidad de la CKA: el efecto composición, escala y tecnología. En la sección 3 se aborda la revisión de la literatura más reciente que se tiene hasta la fecha para algunos países en

desarrollo. En la sección 4 se muestran los Hechos Estilizados en donde se hace un análisis de las variables de estudio. Para la sección 5 se muestra el modelo de Método Generalizado de Momentos con sus respectivas pruebas estadísticas, además de la proyección de dos escenarios para el periodo 2015-2024.

En la sección 6 se mencionan los problemas que conlleva estimar la CKA y las falsas conclusiones e interpretaciones que se le pueden hacer a la CKA. Y por último, se concluye que, el crecimiento económico no resolverá el problema ambiental, sino que lo mitigará un poco; sin embargo, las políticas ambientales son las que tienen un mayor efecto reductivo en la contaminación ambiental, no obstante, es un efecto constante.

## **1 La Curva de Kuznets Ambiental: una revisión conceptual**

### **Antecedentes**

La Curva de Kuznets comienza en el año de 1955 cuando Simón Kuznets propuso una hipótesis en la que planteó que, la relación cambiante entre el ingreso per cápita y la desigualdad de los ingresos poseen una forma cóncava, es decir, una curva U invertida. Kuznets explicó que, a razón de que aumenta el ingreso per cápita, la desigualdad en los ingresos (medido por el índice de Gini comúnmente), también aumenta en el corto plazo; empero, en el largo plazo, la desigualdad de los ingresos comienza a disminuir después de atravesar por un punto de inflexión, es decir, el punto en el cual la distribución del ingreso se vuelve más equitativa.

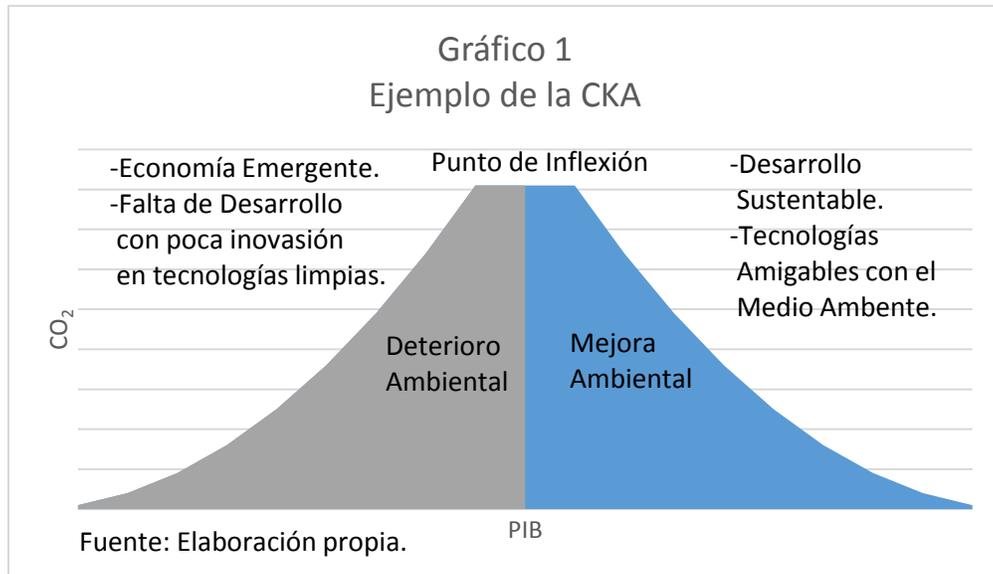
En la teoría económica han surgido distintas conexiones entre desarrollo económico y la degradación ambiental que buscan como objetivo final el desarrollo sostenible que sea amigable con el medio ambiente.

Pero cuando se planteó por primera vez un modelo que explicara la degradación ambiental con respecto al desarrollo económico fue hasta el año 1991 cuando surge la famosa CKA. Grossman y Krueger (1991) fueron los pioneros en plantear

la CKA; estimaron una relación cuasi similar a la de Kuznets, pero en este caso se enfocaron en el medio ambiente, y no en la distribución del ingreso como lo hizo Kuznets.

Groszman y Kruger (1991) hicieron un modelo econométrico de datos panel con efectos aleatorios (modelo corregido por Errores Estándar) para un conjunto de áreas urbanas de 42 países. Plantearon tres modelos para tres diferentes tipos de contaminantes: emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas suspendidas y smog o materia oscura; estudiando así la relación entre la calidad del aire y el crecimiento económico. Los autores encontraron que las concentraciones de los tres contaminantes aumentan con el PIB per cápita a bajos niveles de ingreso nacional, pero disminuyen con el crecimiento del PIB en mayores niveles de ingreso. Los puntos de inflexión (puntos óptimos del ingreso máximo en el cual las emisiones de gases de efecto invernadero disminuye progresivamente) que encontraron oscilan entre los \$ 4,000 y \$ 5,000 dólares (año base 1985). Asimismo, hallaron una relación de U invertida.

Posteriormente, los mismos autores desarrollaron un segundo estudio en 1995 para cuatro tipos de indicadores: la contaminación del aire urbano, el estado del régimen de oxígeno en las cuencas fluviales, la contaminación fecal de las cuencas hidrográficas y la contaminación de cuencas fluviales por metales pesados. Empero, no se encontró evidencia de que la calidad ambiental se deteriore constantemente con el crecimiento económico. En su lugar encontraron que, para la mayoría de los indicadores, el crecimiento económico trae una fase inicial de deterioro seguida de una fase de mejora. De igual manera, los autores encontraron que, los puntos de inflexión para los diferentes contaminantes varían, pero en la mayoría de los casos vienen antes de que un país alcance un ingreso per cápita de \$ 8000 dólares (Groszman y Krueger, 1995).



La gráfica 1 indica que, a bajos niveles de ingreso, el ingreso tiene un efecto negativo en el medio ambiente, lo cual provoca un deterioro ambiental. Pasando por el punto más elevado de la curva, conocido como punto de inflexión o punto máximo, los ingresos tienen un efecto positivo en la calidad ambiental, esto provoca mejoras ambientales. Consecuentemente, se genera una relación U invertida entre el ingreso y la degradación ambiental.

El modelo de la CKA de Grossman Y Krueger (1991) es:

$$E_m = \alpha + \beta_1 Gdp - \beta_2 Gdp^2 + \beta_3 Gdp^3 - T \pm D + \varepsilon$$

$E_m$  puede ser cualquier tipo de contaminante. Usualmente, la mayoría de las investigaciones que presentan evidencia empírica son con emisiones de dióxido de azufre, dióxido de carbono, smog y partículas suspendidas.

Gdp = Producto Interno Bruto. En algunos casos resulta no ser significativo el parámetro elevado al cubo; sin embargo, es muy usado en la literatura para generalizar los modelos, (en esta investigación el parámetro al cubo fue estadísticamente no significativo, por lo cual se tuvo que omitir).

T = tendencia temporal, la variable tiempo es siempre negativa, porque los contaminantes irán disminuyendo a medida que avanza el tiempo, de lo contrario, no se cumple la relación Kuznets.

D = variables dummy, que pueden ser variables de políticas ambientales o erupciones volcánicas u otras.

$\varepsilon$  = representa el termino de error estocástico.

En el primer estudio Grossman y Krueger (1991) como en su segundo estudio (1995); encuentran evidencia de la CKA para ciertos tipos de contaminantes ambientales. No obstante, la evidencia encontrada en el primer estudio (1991) fue de relación cubica para los tres contaminantes del estudio. Para el segundo estudio (1995) encuentran distintos tipos de relaciones de la CKA. Entre estos encuentran: una relación lineal que es monótona y decreciente, otra que es monótona y creciente, otra en forma de U invertida, y en forma de U, también encuentran un polinomio cubico con forma de N y un polinomio cubico con forma de N invertida.

Enkins (1995) hace un resumen detallado de los estudios que han tratado de estimar la CKA. Encontró las siguientes formas que se muestran a continuación en el cuadro 1 de supuestos son las mismas que encontraron Grossman y Krueger (1995).

<b>Cuadro 1 Supuestos de la CKA</b>
Sup.1: $b_1 > 0$ ; $b_2 = b_3 = 0$ Relación es monótona y creciente
Sup.2: $b_1 < 0$ ; $b_2 = b_3 = 0$ Relación es monótona y decreciente
Sup.3: $b_1 > 0$ ; $b_2 < 0$ y $b_3 = 0$ Una relación en forma de U invertida
Sup.4: $b_1 > 0$ ; $b_2 < 0$ y $b_3 > 0$ Releva un polinomio cubico con forma de N
Sup. 5: $b_1 < 0$ ; $b_2 > 0$ y $b_3 < 0$ Releva un polinomio cubico con forma de N invertida.

Fuente: Ekins, P. (1995). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. Department of Economics, Keele University, vol. 29, 805 – 830.

Asimismo, los autores observaron que para el caso de México pudo haber alcanzado el punto de inflexión de contaminación del aire. Debido a que, el gobierno de Salinas redujo el contenido de plomo en la gasolina, así como la orden ejecutiva a las centrales eléctricas de generar energía a partir del gas natural; y añadiéndole a esto la introducción de la energía nuclear para el año de 1990 en Veracruz. Asimismo el cierre de algunas refinerías de petróleo; y las empresas privadas ayudaron a mejorar la calidad ambiental. Por consiguiente, a manera de que una sociedad se hace más rica, la misma sociedad intensificará sus demandas de un ambiente más sano y sostenible, en dado caso, el gobierno será llamado a poner controles ambientales más estrictos Grossman y Krueger (1991).

Los autores concluyen que, México se encuentra en la coyuntura crítica de su proceso de desarrollo. Por ende, la liberalización comercial podría aumentar la especialización mexicana en sectores que causan menos daños medioambientales. De modo que, si se reducen las barreras comerciales, afectarán al medio ambiente al expandir la escala de la actividad económica, alterando la composición de la actividad económica y provocando un cambio en las técnicas de producción (Grossman y Krueger, 1991).

## **2 Fundamentos de la sustentabilidad en la CKA**

El medio ambiente es un bien de lujo. Un "ambiente limpio" es un bien positivo; esto se refiere a aumentos en la demanda por la calidad ambiental en la medida que el ingreso de los consumidores aumenta. La calidad ambiental es por tanto, un bien de lujo, en el que existe cada vez más la disposición y la capacidad para pagar por un medio ambiente saludable; y por ende, existen productos menos perjudiciales para el medio ambiente (Common y Stagl, 2008).

Asimismo, a medida que mejora el desarrollo económico, la sociedad está dispuesta a gastar una mayor proporción de sus ingresos en mejorar la calidad

ambiental, por lo cual, el gobierno utilizará el dinero para desarrollar proyectos ambientales que protejan al medio ambiente. Por consiguiente, a niveles bajos de ingreso per cápita, la prioridad será la satisfacción de necesidades básicas tales como la provisión de alimentos y refugios. A medida que aumenta el ingreso per cápita, esas necesidades básicas están cada vez más satisfechas y la sociedad gastará en lujos tales como: plantas de tratamiento de desechos para mejorar las condiciones ambientales, energía nuclear, energía alternas y limpias entre otros. Esto se cumple, sí solo sí, las necesidades básicas están satisfechas; hay más probabilidades de que las personas se preocupen por la calidad del medio ambiente. Una vez que el crecimiento económico supera el punto de inflexión, la sociedad sentirá deseos de reducir el impacto que tendría un mayor crecimiento en la calidad de su medio ambiente y a su vez dispondrán de los medios adecuados para llevarlos a la práctica políticas sostenibles (Common y Stagl, 2008).

De igual forma, Roca (2003) afirma que, la disposición a pagar por un ambiente limpio aumenta en una proporción mayor que el ingreso. Esto se reflejará en acciones que protejan al medio ambiente como pueden ser: donaciones a organizaciones medioambientales, productos menos dañinos para el medio ambiente, impuestos ambientales, energía nuclear, geoingeniería... No obstante, esto no significa que los países ricos valoran más el medio ambiente limpio que los países pobres, sino que los países ricos tienen cierto nivel de ingreso per cápita en el cual pueden implementar acciones costosas para proteger el medio ambiente; situación insostenible para los países pobres debido a sus bajos ingresos.

Por ejemplo, un país pobre no puede sostener por mucho tiempo los gastos elevados de una buena geoingeniería; así como, no pueden promover políticas económico-ambientales que estén por encima de los máximos históricos de los ingresos o no tienen la capacidad de hacer inversión adecuada en investigación tecnológica que sea amigable con el medio ambiente o no tienen la capacidad para poner más centrales nucleares que disminuyan la contaminación ambiental.

Existen tres principales argumentos que implican la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental: por un lado se encuentra el efecto escala, el efecto composición y el efecto tecnológico.

El primer argumento postula que:

El Efecto Escala nos dice que, una producción en ascenso requiere mayor uso y transformación de recursos, y por ende, esto causará un incremento en la generación de desechos y emisiones, que traerá consigo la degradación para el medio ambiente. En efecto, el mayor ingreso emergente de la actividad productiva, elevará la demanda final de bienes de todo tipo. El sistema alcanzará en conjunto mayores volúmenes de transacción que generan mayor estrés medioambiental; sin embargo, en el largo plazo las emisiones de CO<sub>2</sub> encontrarán la estabilidad y disminuirán a medida que sigue incrementando el ingreso (Panayotou, 1993).

El efecto composición, postula que:

El proceso evolutivo de las economías en el estado de industrialización implica una mayor medida de emisiones de CO<sub>2</sub>. En cambio, en el estado del sector servicios, las emisiones de los contaminantes irán decayendo progresivamente a razón del avance tecnológico de la economía y de la concentración de actividad en el sector servicios (Common y Stagl, 2008).

Asimismo, el efecto composición, traerá consigo el crecimiento económico, que implicará cierta industrialización a bajos niveles de ingreso per cápita, de tal forma que, la economía extraiga más cantidad de materias primas, así como de energía a partir de los recursos del medio ambiente, esto derivará en una mayor cantidad de inserciones en este. A causa de que en el sector servicios se utilizan recursos de manera menos intensiva; la expansión en detrimento del sector de las manufacturas implicará que se extraiga menos recursos del medio ambiente, por lo cual, las inserciones serán menores (Common y Stagl, 2008).

El efecto composición ocurre una vez que los países alcanzan el punto de inflexión (esto implica que, para alcanzar el bienestar ambiental, primero se necesitará llegar al punto más alto de la contaminación ambiental), debido a un alto nivel de

industrialización se enfocarán en el sector servicios, disminuyendo el peso del sector industrial en la formación del producto, pasando a adquirir los bienes manufacturados que consumen desde otros países en vías de desarrollo de reciente industrialización, de cierto modo “exportan” la contaminación a otros países.

Empero, yace un problema en este efecto, debido a que se pretende crecer antes de reducir la contaminación, por lo tanto, creará mayor contaminación. Además, si el punto de inflexión que deben alcanzar los países es exagerado o podría llevar muchos años para desarrollar este nivel óptimo, los errores dejados atrás en el tiempo no se compondrían en el largo plazo (Panayotou, 1993).

De acuerdo a Panayotou el crecimiento industrial se traduce en más producción, más insumos de materiales y más energía; por lo tanto, esto traería consigo más contaminación y desechos. Pero el crecimiento industrial traerá nuevas tecnologías más eficientes, reemplazando las tecnologías e industrias ineficientes, ayudando así, a reducir la contaminación ambiental. De acuerdo al pensamiento del autor, el nivel absoluto de contaminación también puede reducirse a partir del cambio estructural dado por la transición de la economía industrial a una economía de servicios.

No obstante, el sector servicios también es una actividad contaminante, dado que el sector transporte genera cierto nivel de contaminación ambiental. Asimismo, el turismo afecta al ecosistema en cierto grado al deteriorar el paisaje natural, creación de infraestructuras que destruyen el hábitat, la biodiversidad y el aumento de residuos en áreas turísticas.

Es por ello que Panayotou (1993) aclara que, hay que tener cuidado en pensar que el efecto composición implicará que la economía de servicios dejará de utilizar productos del sector industrial. Por el contrario, seguirá utilizando productos del sector industrial, pero serán importados desde los países pobres donde las leyes ambientales son más laxas o las externalidades son más baratas. Esto significa las emisiones contaminantes se “transportan” de un país a otro lo cual no resuelve

el problema de la contaminación, solo lo mitiga en unos países y lo empeora en otros.

El tercer argumento que implica la existencia de la hipótesis de la CKA es el efecto tecnología, esto significa que, con una tecnología diversa pueden producirse la misma cantidad de bienestar y servicios. El proceso tecnológico permite adquirir lo mismo sin dañar el medio ambiente; a partir de una menor utilización de los recursos naturales y de la energía, y consecuentemente, con un menor nivel de emisiones contaminantes (Azqueta, 2007).

Este efecto incluye inversiones en actividades de investigación y desarrollo con el objetivo de innovar y desarrollar tecnologías limpias o eficientes contra el cambio climático. El efecto tecnología se implementa en los países desarrollados por lo regular, debido a que estos tendrán la posibilidad de aumentar la capacidad de sustitución de insumos altamente contaminantes por otros menos agresivos para el medio ambiente (Common y Stagl, 2008).

Según Panayotou (1993) el efecto tecnología llevará a la sustitución de unos prototipos tecnológicos por otros más limpios o eficientes; esto significa que, al ahorrar el consumo de recursos se evitarán mayores contaminantes por unidad producida. Dicho efecto tecnológico reducirá la intensidad de la degradación.

Los países con la misma estructura industrial, sin embargo, pueden generar diferentes niveles de emisiones industriales y desechos si su stock de capital y tecnología de producción es de diferente calidad o cosecha. Plantas industriales anticuadas, viejas o mal mantenidas; la maquinaria tiende a ser menos eficiente en el uso de energía y material y para producir, como resultado, mayores niveles de residuos y emisiones que las plantas industriales nuevas y mejor mantenidas. (Panayotou, 1993, p.2)

El aumento del ingreso per cápita se debe, en parte, a un mayor consumo de materias primas y energía; por consiguiente, crea más residuos y contaminantes

ambientales que perjudican el ecosistema en el largo y corto plazo, que posteriormente empeoran los problemas ambientales. En cambio, las mejoras tecnológicas y cambios en las preferencias que acompañan al crecimiento económico provocan que los impactos ambientales relativos del crecimiento sean cada vez menores (Labandeira, et. al., 2006).

Sin embargo, Panayotou (1993) pone en tela de juicio de que los avances tecnológicos nos pueden llevar a una contradicción, debido al efecto rebote o paradoja de Jevons (a razón del avance tecnológico, aumenta la eficiencia del uso de los recursos, posteriormente, implicaría un aumento del consumo de dicho recurso que una disminución.). Es decir, la innovación tecnología traerá consigo mayor eficiencia en el proceso productivo lo cual generará que los costes de producción se reduzcan, lo cual convergerá en una mayor utilización de insumos y energía. Esto a la vez es contradictorio, porque el propósito del aumento de la tecnología es disminuir la contaminación, y no acrecentarla a partir de una mayor utilización de insumos y energía.

### **3 Revisión de la literatura**

Los principios de la CKA han sido utilizados para estimar modelos para países en desarrollo en adición con variables de control; como puede ser el caso de los modelos en los que se agrega el consumo de energía para un mejor comportamiento de las emisiones de efecto invernadero, por ser un caso. Aunque también hay modelos en los que se agregan otro tipo de variables en las que pueden ser utilizadas como variables exógenas, las políticas ambientales.

Se han estimado casos recientes para países en desarrollo, tales como el caso de Brasil que fue estudiado por Pao y Tsai (2011); demostraron que se comprueba la hipótesis de la CKA en la forma cuadrada, es decir, la U invertida. Pero no solamente para el caso del PIB posee esta forma, sino que también el consumo de energía posee una forma de U invertida.

En efecto, los autores muestran que para el caso de Brasil, en el equilibrio a largo plazo, las emisiones con respecto al consumo de energía y el Producto Interno Bruto (PIB) son inelásticas; no obstante, el consumo de energía es un determinante con mayor relevancia que el PIB en las emisiones de CO<sub>2</sub> para Brasil. Pao y Tsai (2011) explican que esto puede deberse a que, el uso no sostenible de la tierra y la silvicultura en Brasil contribuyen más a las emisiones de gases de efecto invernadero del país. Los hallazgos de las relaciones invertidas en forma de U tanto del ingreso como del consumo de energía implican que tanto el daño ambiental como el consumo de energía primero aumentan con el ingreso, luego se estabilizan, y consecuentemente, disminuyen. Asimismo, los autores determinaron que existe causalidad bidireccional fuerte entre ingresos, consumo de energía y emisiones.

A fin de reducir las emisiones y evitar un efecto negativo en el crecimiento económico, Brasil debería adoptar la doble estrategia de aumentar la inversión en infraestructura energética e intensificar las políticas de conservación de la energía para aumentar la eficiencia energética y reducir el desperdicio de energía. (Pao y Tsai, 2011, p. 2457)

Los autores concluyen que, el sector energético brasileño contribuye poco a las emisiones de gases de efecto invernadero del país y el uso insostenible de la tierra y la silvicultura son los que más contribuyen, pero el consumo de energía es un determinante más importante de las emisiones que el producto real. Asimismo, encontraron que para Brasil, un aumento en el producto real, en realidad puede reducir tanto las emisiones de contaminación como el consumo de energía en Brasil, ya que la demanda de calidad ambiental aumenta a medida que estas economías crecen (Pao y Tsai, 2011).

Asimismo se encuentra un caso en el que no se cumplió la famosa U invertida ( el PIB y la contaminación es positiva tanto en el corto y largo plazo); no obstante, sí se encontró evidencia de que existe una relación entre el consumo de energía y el producto interno bruto con las emisiones de dióxido de carbono para Vietnam;

dicha investigación fue realizada por Al-Mulali y otros (2015), que además, encontraron que, las importaciones también aumentan la contaminación, lo que indica que la mayoría de los productos importados de Vietnam son intensivos en energía y altamente contaminantes. Sin embargo, las exportaciones no tienen ningún efecto sobre la contaminación, es decir, el nivel de exportaciones no afecta a la contaminación. En adición, hallaron que, el consumo de energía de combustibles fósiles aumenta la contaminación mientras que el consumo de energía renovable no tiene un efecto significativo en la reducción de la contaminación. Además, la fuerza laboral reduce la contaminación, debido a que la mayor parte de la fuerza laboral de Vietnam se encuentra en los sectores agrícolas y de servicios que son menos intensivos en energía que el sector industrial.

Asimismo, Alam y otros autores (2016) presentan un estudio reciente para examinar los impactos de los ingresos, el consumo de energía y el crecimiento de la población con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> para los casos de India, Indonesia, China y Brasil. Los resultados muestran que las emisiones de CO<sub>2</sub> han aumentado de manera significativa con aumentos en los ingresos y el consumo de energía en los cuatro países. Los autores encontraron que, la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento de la población fue estadísticamente significativa para India y Brasil, sin embargo, no fueron estadísticamente significativas para China e Indonesia, tanto a corto como a largo plazo.

Sin embargo, existen ciertas problemáticas entorno a la estimación de la CKA. Las cuales son: el ingreso per cápita basado en el promedio no en la mediana. El ingreso no sigue una distribución normal, porque se observa un mayor número de personas bajo el nivel medio que sobre él. Por consiguiente, sería la mediana el dato relevante, que es inferior a la media o promedio. Si se asume la relación indicada para las CKA's; esto quiere decir que la mayor parte de los países están en fases de desarrollo inferiores a las que indicaría la media, por ende, la degradación ambiental seguirá aumentando durante bastante tiempo (Labandeira, et. al., 2006).

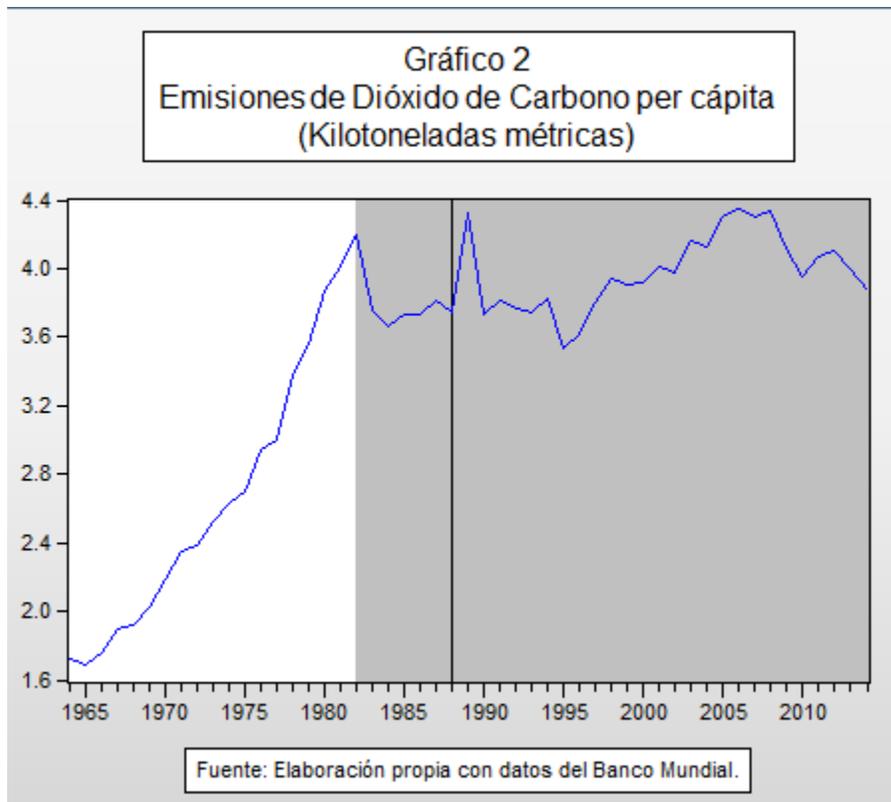
Aunado a las problemáticas de la CKA Labanderia y otros (2006) critican en su libro "Economía Ambiental", la postura que no considera la capacidad de los países para exportar sus problemas ambientales a otros países en vía de desarrollo acaben teniendo los procesos productivos más contaminantes en esas naciones.

Pero lo más importante que destacan los autores son los problemas operativos, entre los cuales destacan: problemas relacionados con la disponibilidad y calidad de los datos necesarios. Esto requiere una gran necesidad de mejorar los procedimientos econométricos de estimación para alcanzar estimaciones que se ajusten a los datos.

#### **4 Hechos estilizados**

La variable endógena a tratar son las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) per cápita, debido a que es el gas de efecto invernadero más importante y que contribuye más a la contaminación atmosférica; además, la CKA se plantea para las emisiones de CO<sub>2</sub> regularmente.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita obtenidas de los datos del Banco Mundial, se pueden apreciar en el Gráfico 1; el inicio de la Ley Federal para la Protección del Medio Ambiente (LFPMA) en el año 1982 (empieza en el área de color gris, para el área de color blanco no habían políticas ambientales bien definidas), en donde fueron emitidas 4.20 kilo toneladas per cápita; no obstante, cabe aclararse que, para el año de 1982 hizo erupción el volcán Chichonal en Chiapas; creció un 4.76%. Si bien aquel año no planteó un cambio estructural para las emisiones de CO<sub>2</sub>, fue hasta el año de 1988 en donde se tiene un importante cambio estructural, que se presenta en la sección 5 de esta investigación.



Precisamente, para el año 1988 (se muestra en la línea vertical negra que está en el Gráfico 1) se aprueba la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA): la cual estableció los estímulos fiscales y financieros, la evaluación del impacto ambiental, las normas técnicas ecológicas, competencias y atribuciones al ámbito local y municipal entre otras cosas que coadyuvaran al desarrollo de políticas ambientales sustentables.

Además, se encontró que, el coeficiente de variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el periodo 1965-1987 (un año antes de que se aprobara la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente) fue de 27.88% mucho mayor que después de la aplicación de dicha política ambiental; en el periodo de aplicación de la LGEEPA (1988-2014) fue de 5.71% el coeficiente de variación. Efectivamente, después de la aprobación de la LGEEPA las emisiones de CO<sub>2</sub> han variado mucho menos; empero, las emisiones de CO<sub>2</sub> para ese periodo aumentaron en un 3.35%. Aunque cabe aclararse que, para el periodo de 1965-1987 las emisiones de CO<sub>2</sub> tuvieron un aumento del 126.41%, aumentó aproximadamente 37 veces más que en el periodo en el que se ha aplicado la

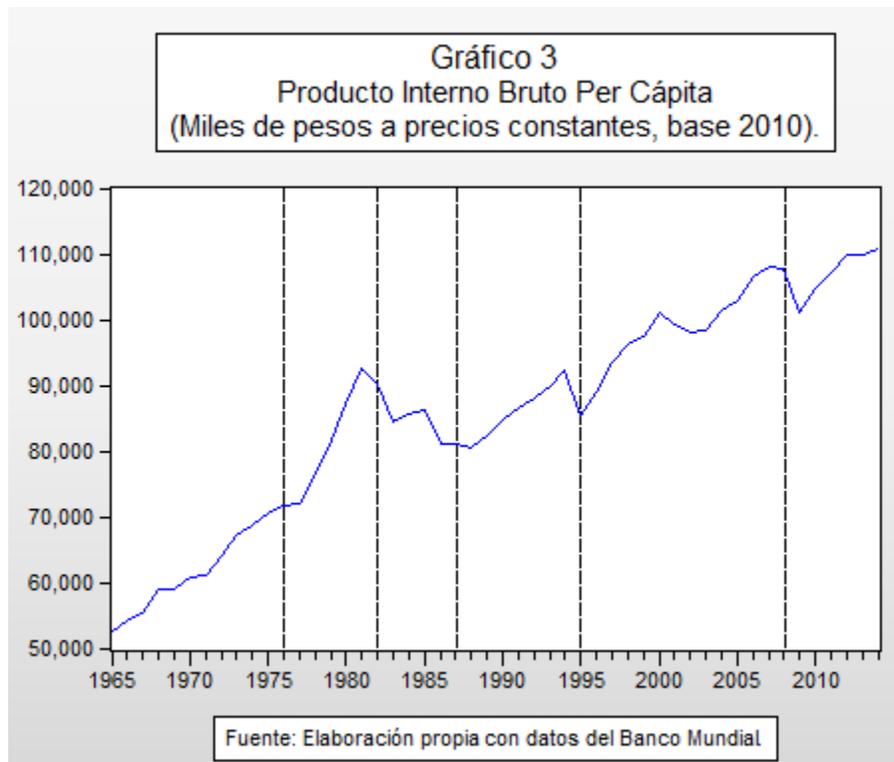
LGEEPA; esto quiere decir que, ha tenido cierta efectividad dicha ley en la reducción de la concentración de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, el punto máximo registrado en todo el periodo se dio en el año de 1989, el cual fue de 4.32 kilo toneladas per cápita; registró una de las más altas tasas de crecimiento del CO<sub>2</sub> de un 15.58%; ese mismo año se firmó el convenio de Basilea (1989) para regular el tránsito transfronterizo de desechos peligrosos. Empero, cabe notar que, para el año de 1995 se da el mayor descenso de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 7.36%; para ese año se creó la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, conocida hoy en día como SEMARNAT), así como el programa de medio ambiente.

También tenemos que, para el año 2008 las emisiones alcanzaron un nivel de 2.17 toneladas métricas per cápita, ese mismo año se registró una pequeña erupción del volcán Popocatépetl; el crecimiento de las emisiones para ese año fue del 1%.

En todo el periodo de 1965 al 2014 las emisiones de CO<sub>2</sub> crecieron en un 129.27%; sin embargo, en los últimos dos años del periodo de estudio, es decir, en el 2013 y 2014, las emisiones decrecieron en un 2.58% y 3.38% respectivamente.

Para la variable PIB per cápita año base 2010 a precios constantes tenemos que, los puntos mínimos registrados ocurrieron, precisamente, en las crisis de 1982, 1987, 1995 y 2008. En el transcurso de esas fechas el PIB per cápita alcanzó los niveles más bajos. Con tasas de decrecimiento de -2.83% para el año de 1982, -0.13% para 1987, en 1995 se registra la mayor tasa de decrecimiento en todo el periodo de un -7.46% y para el año 2008 la tasa de decrecimiento fue de -0.23%. A lo largo de todo el periodo que va de 1965 a 2014 el PIB per cápita ha crecido un 111.40%.



En el gráfico 3 se muestra con varias líneas verticales que representan las crisis que han acaecido en la economía mexicana. Se puede observar en el gráfico 3 que, algunos de los decrementos mayores se dieron post-crisis, es decir, el decaimiento del PIB per cápita fue mayor para el año de 1983 de un -6.25% en comparación con el año de la crisis en 1982, que solo fue de -2.83%. Sin embargo, observamos que, para el año de 1995, el decremento del PIB per cápita fue el más notable y ajusto correctamente con la crisis. Para la crisis del 2008, tenemos que el segundo decremento mayor se presentó para el año 2009 que fue de -6.22%; en estos casos, los shocks de las crisis se sintieron con mayor fuerza en un decremento del PIB per cápita para el año post crisis, debido a que las crisis estaban entrando a finales de esos años.

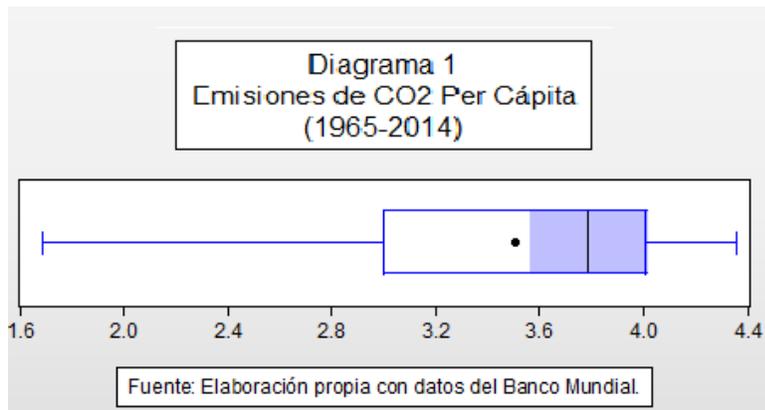
**Tabla 1 Estadísticos**

Estadísticos 1968/2014	PIB Per Cápita (Miles de Pesos, base 2010)	CO2 Per Cápita (Kilo toneladas)
Media	85899.12	3.501018
Mediana	86920.35	3.784468
Máximo	110882.4	4.353174
Mínimo	52451.01	1.686278
Desviación Típica	16661.07	0.774407
Asimetría	-0.382258	-1.094004
Kurtosis	2.152703	2.871261
Jarque Bera	2.713325	10.00824
Probabilidad	0.257519	0.006710

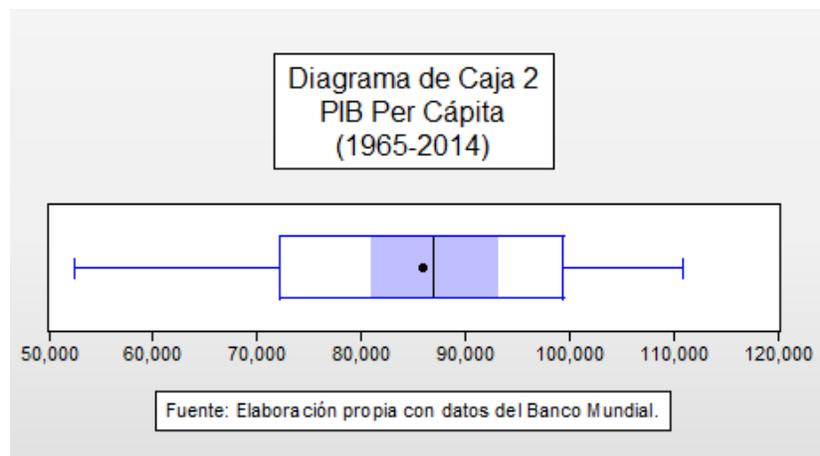
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

La variable que presenta mayor variación es la de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, de acuerdo a las pruebas de normalidad de Jarque Bera, la única variable que presenta una distribución aproximadamente normal es el PIB.

Asimismo, la variable CO<sub>2</sub> presentó ser una serie no normal con kurtosis inferior a 3 y asimetría alejada de 0; en este caso, la distribución es platicúrtica y asimétrica, lo que quiere decir que, los datos no están muy concentrados en la media muestral y están sesgadas a la izquierda. Para el caso del PIB que tiene kurtosis inferior a 3 y una asimetría cercana a cero, obtenemos que también tiene una distribución platicúrtica debido a que no son iguales a 3; y la variable PIB está sesgada a la izquierda.



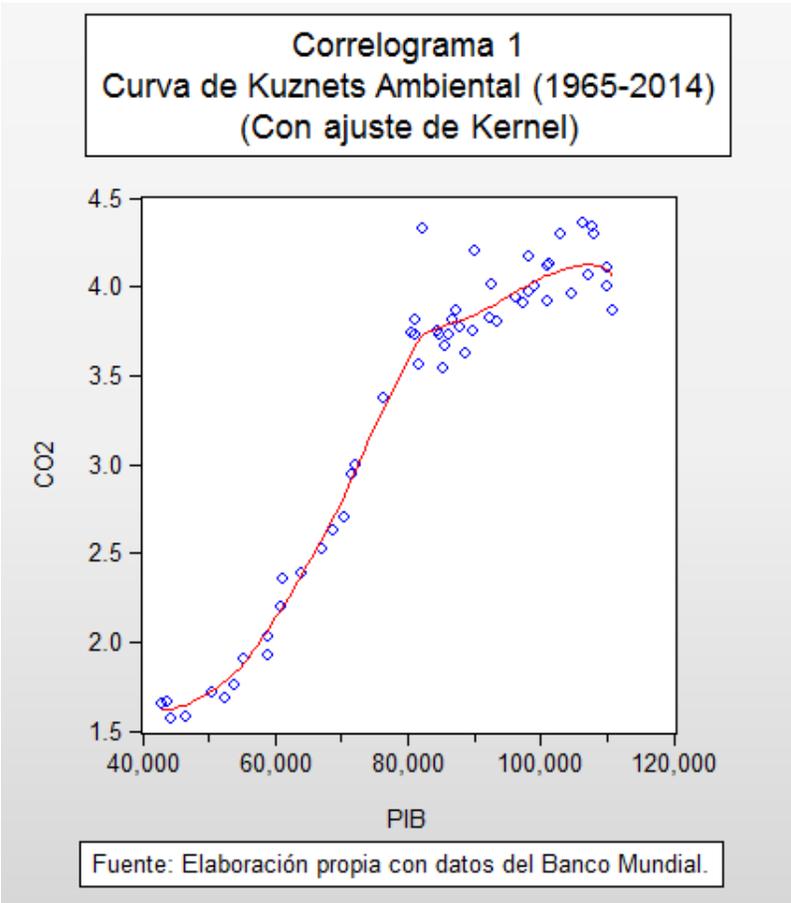
El diagrama de caja 1 permite ver que, las emisiones de CO<sub>2</sub> varían entre 1.68 y 4.35 kilo toneladas per cápita; además, concentrándose el 50% central de los valores de CO<sub>2</sub> entre 2.9 y 4 kilo toneladas per cápita de CO<sub>2</sub>. El promedio de los gases contaminantes es de 3.5 kilo toneladas per cápita (es el punto negro dentro de la caja) para todo el periodo de estudio, en donde la mediana corresponde al valor de 3.7 kilo toneladas per cápita (es la raya negra dentro de la caja); la media y la mediana están muy separadas en el diagrama de caja, lo que representa que los datos no están distribuidos como una normal. Asimismo, no se muestran datos atípicos en las emisiones de CO<sub>2</sub>.



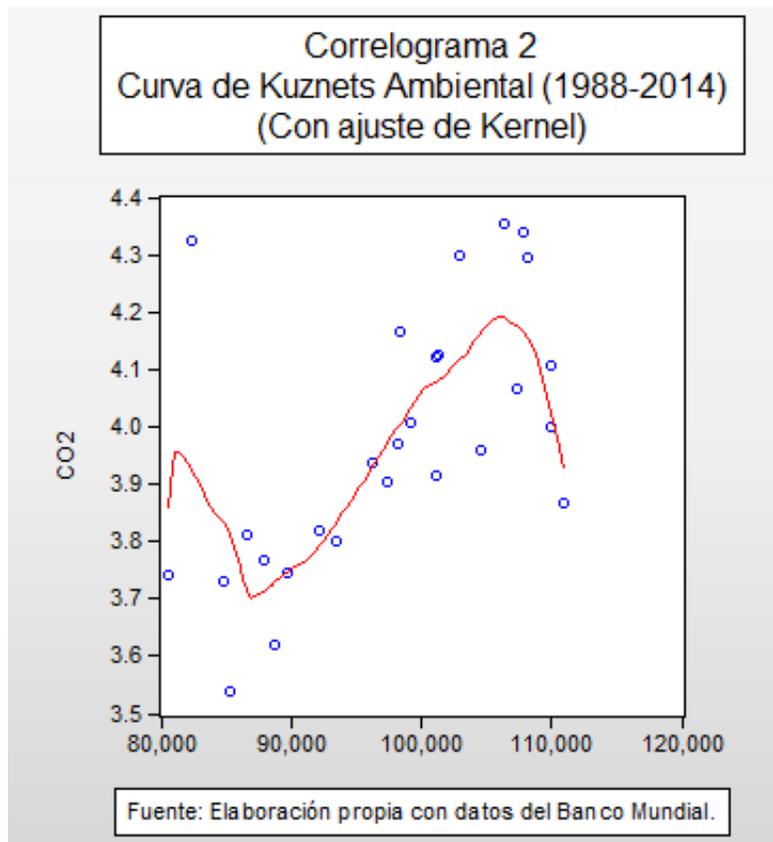
El diagrama de caja 2 muestra a la variable PIB per cápita en donde se puede observar que, los datos varían entre \$52,451.01 pesos por persona (primer cuartil) y \$110,882.4 pesos por persona (tercer cuartil). Concentrándose el 50% central de los valores de PIB per cápita entre \$81,000 pesos por persona y \$94,000 pesos por persona aproximadamente. En este caso, la media de \$ 85,899.12 pesos por

persona y la mediana de \$86,920.35 pesos por persona se encuentran más cerca, por lo que dichos datos están más próximos a ser distribuidos de forma normal.

A continuación se muestra el correlograma 1, que representa la relación de puntos entre las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y el PIB per cápita, las cual se conoce como Curva de Kuznets Ambiental. Sin embargo, en el correlograma 1, podemos observar que, a medida que aumenta el PIB per cápita incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub>.



Esto significaría que, el crecimiento económico no ha alcanzado su máximo desarrollo sustentable, y que es posible que no exista la U invertida de la CKA. La correlación de Pearson entre las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y el PIB per cápita es de 0.9305 (estadísticamente significativa con un alfa del 1%), es decir, presenta una relación positiva y fuerte.



Aunque no es evidente la forma de U invertida en el correlograma 1, se puede apreciar en el correlograma 2 (presenta la relación de puntos para el periodo 1988-2014) que las emisiones de CO<sub>2</sub> están decayendo, eso podría darnos algún pequeño indicio de la forma cuadrática. Dicho correlograma, se basa en el periodo en donde se ha desarrollado la LGEEPA; se puede apreciar ostensiblemente la U invertida de la CKA para este caso.

## 5 Marco Económico

Efectivamente, se encontró que, para el año de 1988 se dio un cambio estructural significativo de acuerdo a la prueba de Andrews-Fair. Precisamente, en ese año, como ya se mencionó, se creó la LGEEPA, que ha sido el instrumento rector de la operación de la política ambiental de la actualidad.

Los principios de la LGEEPA fueron establecer disposiciones para la protección de las áreas naturales, prevención y control de la contaminación de la atmósfera, del suelo y del agua, además del control de materiales y residuos peligrosos; la clasificación de las fuentes de contaminación y las sanciones para quienes violaran dicha ley, se promulgaron en un inicio 31 leyes locales en los estados y cinco reglamentos.

Se hizo la prueba de cambio estructural para el modelo de la U invertida de la CKA, en donde no se incluyen variables adicional al modelo. El modelo que reportó el cambio estructural fue:

$$CO_2 = \alpha + \beta_1(PIB_t) - \beta_2(PIB_t)^2 + \varepsilon_t$$

## Cuadro 2

### Prueba de Andrews-Fair para GMM (1988)

Andrews-Fair LR-type D Stat.	54.99717	Prob. Chi-Square(3)	0.0000
Hall and Sen O Stat.	10.58525	Prob. Chi-Square(7)	0.7183

Fuente: Elaboración propia.

Se tuvo que para el año de 1988 se dio un cambio estructural. El cuadro 2 muestra la prueba de Andrews-Fair para el modelo de método generalizado de momentos conocido como GMM por sus siglas en inglés (Generalized Method of Moments); donde la hipótesis nula indica que no existe cambio estructural, rechazamos la hipótesis nula a un nivel de significancia del 1%, 5% o 10%, y concluimos que sí existe cambio estructural a partir del año de 1988. Asimismo, se presenta la prueba estadística-O de Hall y Sen, donde la hipótesis nula es que las restricciones de sobreidentificación son estables en toda la muestra; dado que no se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia del 10% (el rechazo es el

mismo para niveles del 1% y 5%); se infiere que, las restricciones de sobreidentificación son estables.

Entonces, para resolver el cambio estructural sin hacer un recorte de los datos, se decidió agregar la variable de política ambiental, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). El modelo de la CKA que se propone adicionando una variable de efecto estructural es el siguiente:

$$CO_2 = \alpha + \beta_1(PIB_t) - \beta_2(PIB_t)^2 + \beta_3(LGEEPA) + \varepsilon_t$$

En donde las variables se definen como: CO<sub>2</sub> presentan las emisiones de dióxido de carbono toneladas métricas per cápita medida en kilo toneladas. PIB es el Producto Interno Bruto per cápita a precios constantes medido en miles de pesos base 2010. Y la variable dummy de la política ambiental que es LGEEPA.

El modelo que se utilizó para estimar la CKA para el caso de México fue el modelo de Método Generalizado de Momentos (GMM), este modelo sirve, principalmente, para resolver problemas de autocorrelación y heterocedasticidad constante a partir de la matriz de ponderación de HAC, que presenta estimadores consistentes ante la presencia de heterocedasticidad y autocorrelación en la matriz de covarianza de largo plazo basada en una estimación inicial de Beta, con ello se puede obtener un estimador GMM óptimo o asintóticamente eficiente para que converja al inverso de la matriz de covarianza a largo plazo Hansen (1982); es un método adecuado, sí solo sí, los regresores presentan Endogeneidad (si los regresores son endógenos, entonces el método GMM es el adecuado), para esto se hace la prueba de Durbin-Wu-Hausman.

De acuerdo a la prueba Durbin-Wu-Hausman o prueba de Endogeneidad de los regresores que se presenta en el Cuadro 3, se acepta la hipótesis nula de que los regresores son explicados por las variables instrumentales a un nivel de significancia del 1%, 5% y 10%, esto implica que sí existe Endogeneidad; y que el

método es el adecuado para tratar el asunto de la Endogeneidad, así como la presencia de autocorrelación y heterocedasticidad constante (estas pruebas se omitieron debido a la brevedad de la investigación, además se sabe que la Matriz HAC resuelve el problema en sí).

A continuación se presenta el modelo que se estimó con este método, así como las pruebas de especificación pertinentes al modelo GMM.

### Cuadro 3

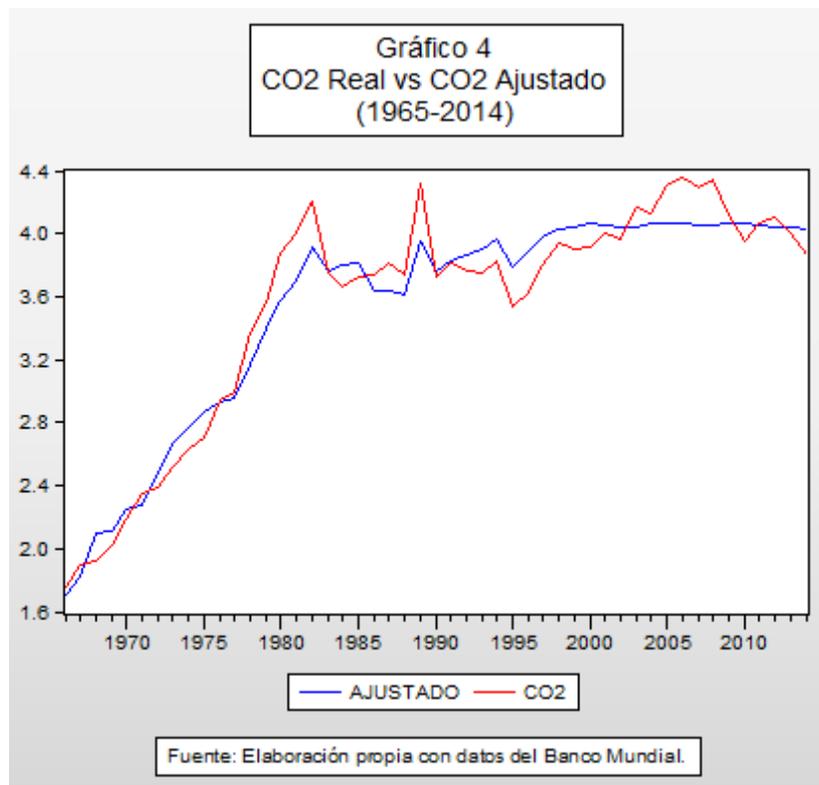
#### Estimación del modelo de la Curva de Kuznets Ambiental Método Generalizado de Momentos (GMM).

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor p
Constante	-6.298 <sup>***</sup>	0.722556	-8.717	0.000
(PIB <sub>t</sub> )	0.000195 <sup>***</sup>	1.81x10 <sup>-05</sup>	10.793	0.000
(PIB <sub>t</sub> ) <sup>2</sup>	-9.06X10 <sup>-10</sup> <sup>***</sup>	1.13x10 <sup>-10</sup>	-8.030	0.000
LGEEPA	-0.142 <sup>**</sup>	0.0704	-2.027	0.048
R <sup>2</sup> = 0.942		R <sup>2</sup> Ajustado= 0.938		
Estadístico J = 7.824(0.251)				
Error Estándar de la regresión = 0.192		Suma de los Residuos al Cuadrado= 1.703		
Prueba de Endogeneidad de los Regresores:	Valor	GL	Probabilidad	
Diferencia en el J-stats	1.762	3	0.623	
Nota: (***) valor p < 0.01, (**) valor p < 0.05, (*) valor p < 0.1				

Fuente: Elaboración propia.

El modelo prueba que, existe la relación de la CKA para la economía mexicana. También se comprueba que la LGEEPA ha tenido efectos que reducen más las emisiones de CO<sub>2</sub> a comparación del PIB per cápita, que tiene efectos muy bajos y es estadísticamente significativa a un nivel del 5% de significancia. Se comprueba que la LGEEPA tiene un efecto marginal constante reductivo mayor a

los parámetros del PIB, el cual el hecho de aplicar la política ambiental, implicaría una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 0.142 kilo toneladas per cápita al año en promedio.



El Coeficiente de Theil de 0.0489, la raíz media de los residuos al cuadrado 0.335 y la proporción de parcialidad fue de 0.095, lo cual representó un buen ajuste del modelo de acuerdo a los indicadores que se aproximan a cero. Aunque se nota en la gráfica 4 que ciertas variaciones no se ajustan del todo a los valores reales, y esto es, debido a que en esos años se presentaron erupciones volcánicas, aunque no necesariamente se presentaron erupciones volcánicas en algunos casos, pero sí se presentó actividad volcánica. El modelo está explicando el 94% de las variaciones de las emisiones de Dióxido de Carbono.

Asimismo, se emplearon 10 variables instrumentales para estimar el modelo; acorde a las sugerencias de investigaciones en la materia y al nivel de pertinencia que tienen con el PIB de México; los instrumentos utilizados para la CKA fueron: La población a dos rezagos, la formación de capital (año base 2010 moneda local

miles de millones de pesos) a cuatro rezagos, el PIB per cápita a 3 rezagos (año base 2010 moneda local), y también se utilizó a la constante como instrumento. Los instrumentos ocupados fueron seleccionados con base a los criterios mínimos de selección de momento de Andrews Schwarz, y Hannan-Quinn.

**Tabla 2**  
**Ortogonalidad**

Instrumentos	Prueba de Ortogonalidad de los instrumentos (Valor p)
Población (-1)	0.0645
Población (-2)	0.0665
PIB (-1)	0.7121
PIB (-2)	0.6430
PIB (-3)	0.5360
Formación Bruta de Capital (-1)	0.4818
Formación Bruta de Capital (-2)	0.8547
Formación Bruta de Capital (-3)	0.2038
Formación Bruta de Capital (-4)	0.9694
Constante	0.1486

Fuente: Elaboración propia.

Todos los instrumentos presentaron ortogonalidad con los residuos, fueron significativos al 1% y al 5%. Asimismo, de acuerdo al Estadístico J mostrado en el Cuadro 3, los 10 instrumentos que se emplearon en el modelo fueron significativos, incluyendo a la constante; no se rechazó la hipótesis nula de correcta especificación de los instrumentos; por lo tanto, se concluye que los instrumentos fueron correctamente especificados a un nivel del 1%, 5% y 10% de significancia.

Se hizo la prueba de los instrumentos que son solo marginalmente válidos, conocidos como prueba de instrumentos débiles, estos pueden conducir a inferencias sesgadas basadas en las estimaciones de variables instrumentales, por lo que es importante hacer esta prueba.

**Tabla 3**

**Prueba de Pertinencia de los Instrumentos**

Cragg-Donald F-stat	18.81041
<u>Stock-Yogo critical values (relative bias):</u>	
5%	16.10
10%	9.37
20%	5.78
30%	4.46

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al estadístico F de Cragg Donald se rechaza la hipótesis nula de la debilidad de los instrumentos, es decir, los instrumentos elegidos son pertinentes en el modelo.

En el Anexo 1 se desarrolla el cálculo del punto máximo de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Que para llegar a dicho punto acorde al modelo propuesto, se necesita un PIB per cápita de \$ 107,615.894 pesos o su equivalente en dólares \$9,213.33 al año, con ello se llegaría a un máximo de 4.05 kilo toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita al año. El punto máximo ya se logró en la economía mexicana, aproximadamente entre el año 2010 y 2011; después del máximo alcanzado, las emisiones tienden a reducirse en manera progresiva. Y efectivamente, a partir de que se dio el punto máximo de emisiones de CO<sub>2</sub> hasta el año 2014, ha disminuido progresivamente la concentración de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 4.69%.

Se utilizará el modelo del Cuadro 3 para hacer dos proyecciones de escenarios a 10 años; es decir, del periodo de 2015 al 2024. Asumiendo que, para el primer escenario seguirá vigente la LGEEPA y que el crecimiento económico por persona será de 1.13% en promedio; este es el mismo crecimiento que se dio en el periodo 2004-2014. Para el escenario número dos, los mismos supuestos con excepción de la vigencia de la LGEEPA, es decir, sin la aplicación de esta política ambiental, ambos escenarios se proyectan con el supuesto Ceteris

Paribus, es decir, que no habrán otras variables de influencia más que las que se presentaron en el modelo, todas las variables que puedan influir en un aumento desmedido de las emisiones de CO<sub>2</sub> permanecerá constante, solamente variará el PIB per cápita.

Aplicando dicha tasa de crecimiento anual promedio al PIB per cápita, conseguimos las respectivas proyecciones para las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita; lo que se hace es sustituir las proyecciones del PIB per cápita con un crecimiento del 1.13% para cada año utilizando la ecuación del modelo presentado en el Cuadro 3. En adición, se presentaron dos escenarios: uno en el que no se cuenta con la política de la LGEEPA y el otro con el cual sí se cuenta con dicha política.

**Tabla 4**

**Proyecciones**

Año	PIB per cápita al 1.13% de crecimiento anual promedio	CO <sub>2</sub> per cápita sin LGEEPA	CO <sub>2</sub> per cápita con LGEEPA	Decrecimiento o CO <sub>2</sub> sin LGEEPA	Decrecimiento CO <sub>2</sub> con LGEEPA
2015	\$112,135.41	4.18	4.04		
2016	\$113,402.54	4.17	4.03	-0.21%	-0.21%
2017	\$114,683.99	4.16	4.02	-0.28%	-0.29%
2018	\$115,979.92	4.14	4.00	-0.35%	-0.37%
2019	\$117,290.49	4.13	3.98	-0.43%	-0.45%
2020	\$118,615.87	4.10	3.96	-0.51%	-0.53%
2021	\$119,956.23	4.08	3.94	-0.60%	-0.62%
2022	\$121,311.74	4.05	3.91	-0.69%	-0.71%
2023	\$122,682.56	4.02	3.88	-0.78%	-0.81%
2024	\$124,068.87	3.98	3.84	-0.88%	-0.92%
Promedio	\$118,012.76	4.08	3.94	-0.53%	-0.55%

Fuente: Elaboración propia.

Si se observa en la Tabla 4 nos percatamos que, las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita disminuyen un poco más con la aplicación de la LGEEPA en un 0.55% en promedio, y sin la aplicación de la LGEEPA se reducen en un 0.53% en promedio. El hecho de que exista la LGEEPA reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita en promedio para los 10 años de proyección en 0.02% puntos porcentuales en promedio. O bien, reducirá la contaminación en un 3.63% más sí se aplica la LGEEPA con respecto a la no aplicación de la LGEEPA.

Los decrementos acumulados para la proyección de 10 años con una tasa de crecimiento del PIB per cápita de 1.13% para ambos escenarios son: con LGEEPA es de -4.95 y sin LGEEPA es de -4.78%. Efectivamente, se muestra por segunda vez que, la LGEEPA ayuda a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Asimismo, si se proyectarán escenarios más optimistas para el PIB per cápita, tendríamos mayores decrementos de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Todo depende de la permanencia de la política ambiental vigente y del crecimiento económico por persona; esas dos variables juegan un papel importante, pero la política ambiental coadyuva en mayor medida a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>; la LGEEPA es útil y está funcionando.

## **6 Desarrollo Económico vs Dilemas Ambientales**

En este tipo de investigaciones se debe de tener mucho cuidado en no caer en falsas conclusiones, es importante aclarar que, el crecimiento económico no necesariamente resolverá el problema ambiental. En tal caso, lo único que puede hacer es reducir parcialmente el problema de la contaminación ambiental. Existen conclusiones erróneas a las que se pueden llegar y que se deben evitar.

Roca y Alcantara (2001) hacen mención en que, es erróneo pensar que, el crecimiento económico resolverá los problemas ambientales, en algunos casos puede empeorar en vez de mejorar. Los autores argumentan que la relación entre el nivel de ingresos y los diversos tipos de emisiones depende de muchos

factores; en algunos casos, las emisiones podrían reducirse considerablemente mediante medidas específicas (por ejemplo, sustituir los disolventes orgánicos por otro tipo de sustancia). Por lo tanto, los autores hacen énfasis en que no se puede pensar que el crecimiento económico, por sí solo, solucionará los problemas ambientales.

Asimismo, Cole (2003) menciona que, el crecimiento puede facilitar la legislación requerida y la inversión para ayudar a reducir las emisiones per cápita de algunos contaminantes, no obstante, no puede reducir en sí la contaminación sin las medidas correctas para políticas ambientales. Por lo tanto, el crecimiento no reduce la contaminación en sí, pero lo que si puede lograr, es que el crecimiento facilitará la legislación requerida y la inversión para ayudar a reducir las emisiones per cápita de algunos contaminantes.

A pesar de que el desarrollo económico no soluciona al 100% los dilemas ambientales, existen casos en los cuales se presenta evidencia de la CKA para políticas óptimas de desarrollo sustentable. En efecto, los investigadores Boyce y Torras (1998) encontraron evidencia para los países de bajos ingresos; una distribución más equitativa del ingreso, una mayor alfabetización y mayores libertades políticas y derechos civiles, pueden afectar positivamente la calidad ambiental. Los autores muestran principalmente que, una mayor desigualdad en la distribución del poder conduce a más contaminación; esto puede llevar a creación de políticas que opten por una mayor equidad en el ingreso para reducir parcialmente la contaminación.

En el caso de los países de ingresos altos, hay pruebas de que el aumento del ingreso medio se asocia con un deterioro renovado en algunas dimensiones de la calidad ambiental. La medida en que este compromiso puede ser relajado a través de cambios sociales, políticos y tecnológicos sigue siendo una cuestión abierta. (Boyce y Torras, 1998, p.158)

Empero, Magnani (2000) sostiene que, para los países de bajos ingresos o pobres no necesariamente existe una relación entre la disminución de la igualdad de los

ingresos y el aumento de la protección del medio ambiente para los valores del ingreso per cápita, por lo tanto, la relación entre disminuir la igualdad de ingresos y aumentar la protección de los valores PIB per cápita por debajo del nivel crítico declarado no puede generalizada a los países de bajos ingresos.

Magnani concluye que, el crecimiento económico es capaz de aumentar la calidad ambiental, sí solo sí, el efecto negativo de la producción de bienes y servicios sobre la incipiente contaminación es más que compensado por el efecto positivo del crecimiento en la demanda de políticas de reducción de la contaminación:

Es más probable que se observe una reducción de las emisiones de contaminación en los países de ingresos altos si el crecimiento económico acompaña a mejoras en otros indicadores sociales, en particular la desigualdad de ingresos, que desplazan las preferencias sociales del consumo de bienes privados al consumo de bienes públicos como servicios ambientales. (Magnani, 2000, p. 442)

Sin embargo, a pesar de que algunos autores planteen que no siempre se cumple la hipótesis de la CKA para países en desarrollo; sin embargo, es probable que en los países en desarrollo se pueda lograr una disminución en los diversos contaminantes al largo plazo (Dasgupta, 2002).

Asimismo, Matthew Cole (2003) concluye en su investigación que, el crecimiento no reduce la contaminación, en efecto, sugiere que el crecimiento puede facilitar la legislación requerida y la inversión para ayudar a reducir las emisiones per cápita de algunos contaminantes.

Solo en el caso del dióxido de azufre el análisis sugiere que los patrones de comercio impulsados por las regulaciones ambientales y / o las dotaciones de factores determinan las emisiones per cápita. Con la excepción de este contaminante, el modelo de comercio completo parece añadir poco a la estimación básica de CKA. En términos más

generales, los resultados sugieren que la relación de la CKA no está determinada por la migración o el desplazamiento de la industria intensiva en contaminación desde el norte hacia el sur, como han afirmado los defensores de la hipótesis de la contaminación. (Cole, 2004, p.575)

## **Conclusiones:**

La Curva de Kuznets Ambiental no es una teoría ni siquiera es un paradigma, lo cual ha formado muchos puntos de vista tanto a favor como en contra del cumplimiento de la hipótesis; funciona únicamente para determinados contaminantes, especialmente aquellos generados en las etapas de producción y que tienen efectos inmediatos en la población local.

Sin embargo, la CKA sigue siendo un tema de amplio debate hasta la fecha. Esto no significa que sea falso o verdadero el cumplimiento de la CKA, sino que, depende de la muestra de países y el intervalo de tiempo escogido.

Asimismo, se han visto diferentes efectos para los países ricos y para los países pobres. En los que destacan que, los países ricos disminuyen más sus emisiones contaminantes y que los países pobres deben alcanzar cierto nivel de ingreso para llegar a los rendimientos decrecientes de la contaminación. Asimismo, se debe tener cuidado en pensar que, la CKA sería la política adecuada para un desarrollo sostenible que pueda reducir los dilemas ambientales o el cambio climático. Y esto es, porque el cambio climático no se puede reducir de la noche a la mañana, tomaría años; las políticas tendrían que estar diseñadas para ser a largo plazo.

También cabe aclarar que no todos los países crecen del mismo modo, algunos les toma más tiempo que a otros, y es posible que los puntos de inflexión de cada nación pobre sean casi inverosímiles o muy difíciles de alcanzar. Tampoco se resolverá el problema del cambio climático y no se llegaría a una adecuada política sostenible, dado que existe el caso en el que los países ricos exportan su

contaminación a países pobres; creando industrias en los países de bajos ingresos e importando aquellos bienes a su país, eso no mitiga el problema, por el contrario, solo lo traslada de lugar.

En resumen, es falaz concluir que la CKA indica que el crecimiento económico resuelva automáticamente los problemas ambientales, tendrían que pasar muchos años para que las reducciones sean elásticas. Una segunda falacia que se puede cometer al estudiar la CKA es que, los países a partir del crecimiento económico reducirán sus problemas ambientales llegando siempre al desarrollo sostenible; asimismo, se debe tener precaución con la falacia de que todos los países cumplen con la hipótesis de la CKA.

Si bien, se cumplió la hipótesis de la CKA para el caso de México y se encontró un punto de inflexión de \$107, 615 mil pesos por persona que actualmente se ha arrevesado. No obstante, existe otro problema que no se contempló en el modelo, y son las explosiones volcánicas o actividad volcánica, el modelo no logró explicar las variaciones ocurridas en los años que hubieron las explosiones volcánicas, esto vuelve más difícil el problema, debido a que, aunque se tenga un plan a largo plazo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para los próximos 10 años, se tendría el problema de las erupciones volcánicas; que son eventos totalmente aleatorios y naturales, y que a causa de estos eventos se producen más emisiones de diversos contaminantes; esas variaciones serían inverosímiles de predecir y afectarían demasiado en la contaminación ambiental.

No obstante, se aclaró que los efectos de una política ambiental pueden tener mayor significancia y reducir relativamente más las emisiones contaminantes que usando medidas en las que no se tienen precedentes de política ambiental. Es por ello que, incitamos a la elaboración de políticas pertinentes con enfoques económicos de bajo carbono, dado que sí impactan en la reducción de la contaminación.

## Bibliografía:

1. Alam, M., Muradb, Murad, W., Noman, H. A. y Ozturkd, I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energyconsumption and population growth: Testing Environmental KuznetsCurve hypothesis for Brazil, China, India and IndonesiaMd. Ecological Indicadorts, núm. 70, 466-479.
2. Al-Mulali, U., Saboori, B. y Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. Energy Policy, núm. 76, 123-131.
3. Azqueta, D. (2007). Introducción a la Economía Ambiental. Capítulo 11 subdesarrollo y degradación ambiental (2ª. Ed.). 11.5 Evidencia empírica, crecimiento y medio ambiente: la U ambiental de Kuznets (387-391). España: Mc Graw Hill.
4. Banco Mundial (2018). Data Bank. World Development Indicators [consultado 20 de Marzo del 2018]. Disponible en: [http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Code=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&id=1ff4a498&report\\_name=Popular-Indicators&populartype=series&ispopular=y](http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Code=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&id=1ff4a498&report_name=Popular-Indicators&populartype=series&ispopular=y)
5. Boyce, J. K. y Torras, M. (1998). Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets Curve. Ecological Economics, núm. 25, 147–160.
6. Cole, M. A. (2004). Development, trade, and the environment: how robust is the Environmental Kuznets Curve? Theory and Applications. Environment and Development Economics, vol. 8, pp 557–580.
7. Common, M. y Stagl, S. (2008). Introducción a la Economía Ambiental (2a. ed.). Capítulo 6 Crecimiento Económico y Medio Ambiente (pp 247-249). España: Reverté.
8. Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H. y Wheeler, D. (2002), Confronting the Environmental Kuznets Curve, Journal of Economic Perspectives, 16 (1), 147-168.

9. Ekins, P. (1995). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. Department of Economics, Keele University, vol. 29, 805 – 830.
10. Gilpin, A. (2003). Economía Ambiental: Un Análisis Crítico (1 a. ed.). Capítulo 4 Desarrollo Sostenible (pp. 84-101). México: Alfa Omega.
11. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos (2016). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. México: Ciudad de México [Consultado 15 de Abril 2018]. Disponible en: <http://www.sct.gob.mx/obrapublica/MarcoNormativo/4/4-1.pdf>
12. Grossman, G. y Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, National Bureau of Economic Research, núm. 3914, 1-39.
13. Grossman, G. y Krueger, A. (1995). Economic Growth and the Environment, Quarterly Journal of Economics, 110(2), 353-377.
14. Hansen, L. P. (1982). Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators. Econometrica, 50(4), 1029-1054.
15. Kuznets, P. S. (1955). Economic growth and income inequality. American Economic Review, núm. 45, 1– 28.
16. Labandería, X., León, C. J. y Vázquez, M. (2006). Economía Ambiental. La sustentabilidad del desarrollo económico. Capítulo 2.2 Crecimiento Económico y conservación Ambiental (pp. 21-26). España: PEARSON EDUCACION.
17. Magnani, E. (2000). The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution. Ecological Economics. Núm. 32. 431–443.
18. Micheli, J. (2001). Política Ambiental en México y su Dimensión Regional, Scielo, Región y Sociedad [Consultado 10 de Abril del 2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252002000100005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252002000100005)

19. Panayotou, T. (1993), Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. International Labour Organization Geneva, núm. 1-42.
20. Panayotou, T. (2000). Economic Growth and the Environment, Environment and Development Economics, 1-56.
21. Pao, H. y Tsai, C. (2011). Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. Energy, Department of Management Science, núm. 36, 2450-2458.
22. Roca, J. y Alcantara, V. (2001). Energy Intensity, CO2 emissions and the Environmental Kuznets Curve. The Spanish Case, Energy Policy, 29 (7), 553-556.

#### ANEXO 1

*Criterio de la primer derivada para obtener punto óptimo :*

$$CO_2 = -6.298 + 0.000195(PIB_t) - 9.06 \times 10^{-10} (PIB_t)^2 - 0.142 (LGEEPA)$$

$$\frac{\partial}{\partial PIB} CO_2 = \frac{\partial}{\partial PIB} -6.298 + 0.000195(PIB_t) - 9.06 \times 10^{-10} (PIB_t)^2 - 0.142 (LGEEPA)$$

$$-\frac{\partial}{\partial PIB} 6.298 + \frac{\partial}{\partial PIB} 0.000195(PIB_t) - \frac{\partial}{\partial PIB} 9.06 \times 10^{-10} (PIB_t)^2 - \frac{\partial}{\partial PIB} 0.142 (LGEEPA)$$

$$0 + 1 \times 0.000195(PIB_t)^{1-1} - 2 \times 9.06 \times 10^{-10} (PIB_t)^{2-1} - 0 = 0.000195 - 1.812 \times 10^{-9} (PIB_t) = 0$$

$$0.000195 = 1.812 \times 10^{-9} (PIB_t) \Rightarrow (PIB_t) = \frac{0.000195}{1.812 \times 10^{-9}} = 1.076158940 \times 10^5 = 107,615.894$$

*Criterio de la segunda derivada para saber si es un máximo o mínimo :*

$$\frac{d}{d PIB} 0.000195 - 1.812 \times 10^{-9} (PIB_t) = \frac{d}{d PIB} 0.000195 - \frac{d}{d PIB} 1.812 \times 10^{-9} (PIB_t)$$

$$0 - 1.812 \times 10^{-9} (PIB_t)^{1-1} = -1.812 \times 10^{-9} < 0 \text{ por lo tanto, es un máximo.}$$

*Calculando el punto máximo de emisiones de CO<sub>2</sub> con política ambiental incluida :*

$$CO_2 = -6.298 + 0.000195(PIB_t) - 9.06 \times 10^{-10} (PIB_t)^2 - 0.142 (LGEEPA)$$

sust.  $PIB_t = 107,615.894$  y  $LGEEPA = 1$

$$CO_2 = -6.298 + 0.000195(107,615.894) - 9.06 \times 10^{-10} 107,615.894^2 - 0.142 \quad (1)$$

$$CO_2 = -6.298 + 20.98509933 - 10.49254966 - 0.142 = 4.05254967$$

Por lo tanto, punto máximo es  $(107615.894, 4.05254967)$