



Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales
Escuela de Economía
Trabajo de Grado

Determinar la relación entre las emisiones de Dióxido de Azufre y el PIB per cápita en México y EEUU basado en la Curva de Kuznets Ambiental.

Tutor: Daniel Lahoud
Autor: Valeria Verde

Caracas, Octubre de 2016

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas las personas que de alguna manera u otra se vieron involucradas en la realización de éste trabajo y en especial:

- A mi tutor, Daniel Lahoud por haber estado siempre para apoyarme y orientarme, así como por su paciencia y perseverancia sin las cuales no hubiese sido posible la realización de este trabajo.
- A mi familia, en especial a mi mama, por estar siempre pendiente en todas las etapas de la realización de esta tesis, y apoyarme en todas las largas noches sin dormir que pase para realizar este trabajo de investigación
- A la UCAB por brindarme la mejor formación que he podido recibir.

Índice

Lista de Tablas y Gráficas.....	5
Introducción	6
CAPÍTULO I.....	8
1. <i>Hipótesis y Objetivos</i>	8
1.1. <i>Hipótesis</i>	8
1.2. <i>Objetivo General.....</i>	8
1.3. <i>Objetivos específicos.....</i>	8
CAPÍTULO 2	9
Marco Teórico	9
2. <i>Antecedentes</i>	9
2.1 <i>Líneas de pensamiento en la explicación de la CKA.....</i>	16
2.1.1 <i>Economía neoclásica, ambiental y de los recursos naturales</i>	16
2.1.2 <i>Modelo de la Curva de Kuznets Ambiental</i>	23
CAPÍTULO III.....	26
3. <i>Fuentes de información</i>	26
3.1 <i>Base de Datos</i>	26
3.1.1 <i>Producto Interno Bruto Real Per Cápita.....</i>	26
3.1.2 <i>Emisiones de Dióxido de Azufre</i>	29
3.2 <i>Razón entre el Crecimiento Económico y la Emisiones de SO₂</i>	36
3.3 <i>Metodología econométrica</i>	37
3.3.1 <i>Regresión Localmente Ponderada (Lowess Smoother).....</i>	37
3.3.2 <i>Regresión con Datos de Panel.....</i>	40
3.3.2.1 <i>Clasificación de los Modelos Econométricos.....</i>	41
3.3.2.2 <i>Especificación General de un Modelo de Datos Panel</i>	43
3.3.2.3 <i>Modelo de Efectos Fijos</i>	45
3.3.2.4 <i>Modelo de Efectos Aleatorios.....</i>	45
3.3.3 <i>Cointegración de Series de Tiempo</i>	46
3.3.3.1 <i>Series No Estacionarias.....</i>	47
3.3.4 <i>Regresiones Aparentemente No Relacionadas.</i>	50
3.3.4.1 <i>Especificación del Modelo General.....</i>	52
CAPÍTULO IV	56

4.	<i>Análisis de la relación entre las emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento económico</i>	56
4.1	<i>Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de Regresión Localmente Ponderada..</i>	56
4.1.1	<i>Regresión Localmente Ponderada en México (1960 – 2005)</i>	57
4.1.2	<i>Regresión Localmente Ponderada en Estados Unidos de América (1960 – 2005)</i>	57
4.1.3	<i>Regresión Localmente Ponderada Global (1960 – 2005)</i>	58
4.2	<i>Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del Método de Datos de Panel</i>	59
4.2.1	<i>Análisis de la Estimación del Modelo con Datos Panel de la CKA (1960 – 2005)</i>	62
4.3	<i>Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de cointegracion de las series de tiempo</i>	64
4.3.1	<i>Análisis de Estacionariedad de las Variables de la CKA</i>	65
4.3.2	<i>Análisis de la Estimación del Modelo por País de la CKA por MCO</i>	66
4.4	<i>Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de Regresiones Simultáneas</i>	
	<i>Aparentemente no Relacionadas</i>	67
4.4.1	<i>Análisis de la Estimación del Sistema de Ecuaciones de la CKA por SUR</i>	70
4.4.2	<i>Análisis Comparativo de las Estimaciones de la CKA por MCO y SUR (1960 – 2005)</i>	71
	Conclusiones	73
	Referencias Bibliográficas	77
	ANEXOS	85
5.	<i>Regresión con Data de Panel</i>	85
5.1	<i>Modelo de Efectos Fijos.</i>	85
5.2	<i>Modelo de Efectos Aleatorios</i>	86
5.3	<i>Análisis de Estacionariedad.</i>	87
5.4	<i>So2 de Estados Unidos</i>	88
5.5	<i>PIB real per cápita de México</i>	89
5.6	<i>PIB real per cápita de Estados Unidos</i>	89
5.7	<i>PIB real per cápita² de México</i>	90
5.8	<i>PIB real per cápita² de Estados Unidos</i>	91
5.9	<i>ΔSO₂ de México</i>	91
5.10	<i>ΔSO₂ de Estados Unidos</i>	92
5.11	<i>ΔPIBrp de México</i>	92
5.12	<i>ΔPIBrp de Estados Unidos</i>	93
5.13	<i>ΔPIBrp² de México</i>	94
5.14	<i>ΔPIBrp² de Estados Unidos</i>	94

5.15	<i>Regresión con Series de Tiempo</i>	95
5.15.1	<i>Estimación de la CKA de México</i>	95
5.15.2	<i>Análisis de Estacionariedad de las Perturbaciones de México</i>	96
5.15.3	<i>Prueba de Correcta Especificación del Modelo en México</i>	96
5.15.4	<i>Estimación de la CKA de Estados Unidos</i>	96
5.15.5	<i>Análisis de Estacionariedad de las Perturbaciones de Estados Unidos</i>	97
5.15.6	<i>Prueba de Correcta Especificación del Modelo en Estados Unidos</i>	97
5.16	<i>Regresiones Simultáneas Aparentemente no Relacionadas</i>	98

Lista de Tablas y Gráficas

Tablas

- Tabla 1. Historia de los estándares de calidad del aire nacionales en Estados Unidos, 33
Tabla 2. Análisis de la Estimación del Modelo con Datos Panel de la CKA (1960 – 2005), 62
Tabla 3. Análisis de Estacionariedad de las Variables de la CKA (1960 – 2005), 65
Tabla 4. Análisis de la Estimación del Modelo por País de la CKA por MCO, 66
Tabla 5. Análisis de la Estimación del Sistema de Ecuaciones de la CKA por SUR, 70
Tabla 6. Análisis Comparativo de las Estimaciones de la CKA por MCO y SUR (1960 – 2005), 71

Gráficas

- Gráfica 1. Sistema cerrado de la economía neoclásica, 17
Gráfica 2. Sistema cerrado de la economía ambiental, 18
Gráfica 3. Subsistema abierto de la economía ecológica, 22
Gráfica 4. Curva de Kuznets Ambiental, 24
Gráfica 5. Producto Interno Bruto Real Per Cápita (US\$), 28
Gráfica 6. Proporción del Producto Interno Bruto Real Per Cápita por País, 29
Gráfica 7. Emisiones de SO₂ (Giga-gramos), 34
Gráfica 8. Proporción de las Emisiones de SO₂ por País, 35
Gráfica 9. Razón entre Emisiones de SO₂ y el Crecimiento Económico (Giga-gramos/US\$), 36
Gráfica 10. Regresión Localmente Ponderada en México (1960 – 2005), 57
Gráfica 11. Regresión Localmente Ponderada en EUA (1960 – 2005), 57
Gráfica 12. Regresión localmente ponderada global (1960 – 2005), 58

Introducción

Desde hace más de 40 años, el impacto del crecimiento del ingreso sobre la calidad del medio ambiente ha ido tomando diversas posturas entre los científicos enriqueciendo los procesos de su comprobación empírica.

Los inicios de esta teoría se remontan a Simon Kuznets (1901-1985), premio de Economía en 1971, quien describió la relación entre el crecimiento económico y la distribución del ingreso a través de lo que se denominó como la Curva de Kuznets (CK). Su argumento consistía en explicar que, al inicio del proceso de desarrollo, la economía presenta una distribución del ingreso equitativa (arrojando un coeficiente de Gini bajo). No obstante, a medida que el proceso avanza, la relación equidad – ingreso empieza a deteriorarse, generando una mayor desigualdad hasta alcanzar un nivel máximo. Al alcanzar dicho punto, el nivel de equidad comienza a mejorar conforme aumenta el ingreso haciendo que el coeficiente de Gini logre estabilizarse.

En la década de los 70, algunos científicos como Georgescu Roegen (1971) y Meadows et al (1972) (citados por Panayotou, 1993) enunciaron que la producción y el consumo de bienes y servicios requieren aportes de energía y materiales que generan subproductos de desecho. Indicaron que de mantenerse constantes el resto de las variables de su estudio, el crecimiento de la actividad productiva por aumento en los niveles de demanda vía ingreso incrementaría tanto la extracción de recursos naturales como la acumulación de residuos contaminantes, reduciendo la calidad del medio ambiente y el bienestar social de las regiones en las que tiene lugar el crecimiento económico.

Este aporte fue extrapolado al campo ambiental, dando lugar a la relación entre crecimiento económico y degradación del medio ambiente.

En 1992, el Banco Mundial adopta como válida la hipótesis, lo cual generó gran controversia en la comunidad científica. En 1993, Theodore Panayotou introdujo por primera vez en la literatura económica la expresión de la hipótesis de la “Curva de Kuznets Ambiental (CKA)”

Este trabajo pretende realizar una comprobación empírica de la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) en México y Estados Unidos, teniendo en cuenta variables que, se cree, han afectado directamente la calidad del medio ambiente, a partir de las emisiones de SO₂.

La motivación principal que subyace a este objetivo, es la convicción de la importancia del fenómeno del cambio climático, que ha ido adquiriendo en los últimos años, exigiendo un cambio en los patrones actuales de consumo y producción hacia formas más sustentables, requiriendo de la implementación de políticas de mitigación y adaptación para atenuar los efectos del calentamiento global.

CAPÍTULO I

1. Hipótesis y Objetivos

1.1.Hipótesis

La curva de Kuznets Ambiental asocia el comportamiento de las emisiones de dióxido de azufre y el Producto Interno Bruto per cápita como una U invertida.

1.2.Objetivo General

Analizar la relación entre el crecimiento económico y la contaminación atmosférica generada por las emisiones del gas de efecto invernadero (GEI) dióxido de azufre (SO₂) según la Curva de Kuznets Ambiental, para EEUU y México

1.3.Objetivos específicos

- Analizar la relación entre el PIB y SO₂ en cada uno de los países, basándose en la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental.
- Evaluar el Marco Institucional y proponer las Medidas Ambientales pertinentes (si fuese necesario) para el Sector Productivo y Energético para cada uno de los países
- Calcular empíricamente la relación entre el PIB per cápita y las emisiones de dióxido de azufre en cada uno de los países en estudio.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2. Antecedentes

...El modo como la investigación científica hace sus preguntas con respecto al mundo natural y humano que aspira a explicar, estará siempre influido por factores sociales, culturales y políticos. Así pues, las actitudes con respecto a la naturaleza y su preservación/conservación variarán a medida que evolucionen la humanidad y la naturaleza (Pearce y Turner, 1990: 32).

A lo largo del tiempo, el ser humano y su entorno han estado coexistiendo de manera confrontada y radicalizada. Este conflicto se puede observar principalmente en dos momentos primordiales de su historia:

Se dan un conjunto de transformaciones sociales y económicas debido al proceso de industrialización (siglos XVII y XIX). Estas transformaciones se dan, principalmente, por la captura de la energía fósil, ya que gracias a esta se dejó de depender únicamente del sol a través de las plantas para recurrir a la utilización de un sol fosilizado (carbón mineral y petróleo). De esta manera, se pasa del uso de la máquina al uso del motor (Blanco, 2006).

Ambas revoluciones generarían un distanciamiento entre el ser humano y su entorno, debido a que a este sólo le interesa aquellos objetos que sean reproducibles, intercambiables y valorables. Así pues, si se toma la historia del pensamiento económico, se puede observar que desde la época antigua ha estado presente casi como

única preocupación, la actividad económica y los elementos que la conforman, sin tomar en cuenta los efectos posteriores que ésta podría causar en el ambiente en el largo plazo.

Según Posada y Pimiento (1997), la despreocupación por el medio ambiente seguiría estando presente durante muchos años más. Recuérdese que en el siglo XVI, con los descubrimientos de nuevas tierras y el avance de la navegación, se desarrolla el Mercantilismo, orientado al logro de un excedente en la balanza comercial, mediante el proteccionismo. Luego, el desarrollo de ideas económicas en el siglo XVII supone el paso al capitalismo industrial, el cual considera que la riqueza y su aumento se debe a la producción agrícola y el excedente disponible para ser acumulado.

Según Argüelles (2013), los fisiócratas, denominación que se dio a la que es considerada como primera escuela teórica de economía, eran un grupo de filósofos sociales franceses que escribieron durante la segunda mitad del siglo XVIII. Consideraban a la tierra como la principal fuente de riqueza; el objetivo económico se centraba en aumentar la producción y el rendimiento agrícola. Las actividades de transformación o distribución de alimentos eran secundarias, por lo que las rentas que percibían sus ejecutores debían ser bajas. Todavía no existía ninguna preocupación por la naturaleza, se creía que la tierra constituía una fuente inagotable de recursos al servicio del hombre.

Los economistas clásicos, escuela iniciada con Adam Smith (1723-1790) y que culmina con John Stuart Mill (1806-1873), defendían la propiedad privada, los mercados y la competencia como instrumentos para alcanzar el bienestar social, desconfiando de la intervención del gobierno en la regulación de la actividad económica. Bajo esta teoría, el trabajo era considerado la principal fuente de riqueza. Adam Smith introdujo el concepto de “estado estacionario”, en el que las defunciones compensarían los nuevos nacimientos. Se trataría de un estado en el que la mayoría de la gente viviría al nivel de subsistencia. La explicación de cómo se llegaba a ese estado estacionario fue aportada por Malthus (1766-1834), quien consideraba que la oferta de tierra agrícola era finita y estaba dada, por lo que el crecimiento exponencial de la población, junto con los

rendimientos decrecientes del factor trabajo en la agricultura, conllevarían una reducción en la oferta de alimentos per cápita. Según Malthus, mientras que los alimentos aumentaban en progresión aritmética, la población se duplicaba cada generación, de modo que la única solución al problema de subsistencia del hombre era limitar el volumen de población para adaptarlo a la oferta de alimentos. Las doctrinas pesimistas de Malthus dieron a la economía el sobrenombre de “ciencia lúgubre”, nombre que le dio Thomas Carlyle.

Por su parte, David Ricardo (1772-1823) introduce el concepto de rendimientos decrecientes, según el cual, a medida que aumentan los factores capital y trabajo necesarios para labrar la tierra, disminuyen los rendimientos agrícolas. De este modo, por diferencia con Malthus, se centró, no en considerar que la oferta de tierra estaba dada, sino en su distinta fertilidad. Pensaba que los únicos que ganarían con el progreso económico serían los terratenientes. Asimismo, este autor privilegió el concepto del valor del trabajo para explicar la diversidad de precios en los bienes.

Desde un punto de vista microeconómico, la cuestión ambiental se ha centrado, fundamentalmente, en lo que ha venido en llamarse “externalidades”. Estas surgen de los planteamientos originarios de John Stuart Mill, quien, en su Teoría de los defectos del mercado, analiza los problemas de la intervención del Estado en la Economía, identificando tres tipos de fallos de mercado: efectos externos, rendimientos crecientes y falta de información, basados “en las tres condiciones necesarias para la existencia de competencia perfecta: perfecta discriminación de bienes, perfecta divisibilidad de factores y perfecta información” (Argüelles, 2013).

John Stuart Mill aceptó que el cambio tecnológico podría contrarrestar, en gran medida, los rendimientos decrecientes en la agricultura, evitando la caída de alimentos per cápita y permitiendo, entre otras cuestiones, una mejora del nivel de vida. Predijo que el crecimiento económico continuado tendría efectos negativos para el medio natural: “Si la tierra tiene que perder la mayor parte de sus atractivos, extirpados por el crecimiento ilimitado de la riqueza y de la población, y por el mero propósito de permitir

un mayor tamaño de la población, pero no más feliz ni mejor, espero, sinceramente, por el bien de la posteridad, que nos contentemos con el estado estacionario, mucho antes de que la necesidad nos fuerce a él” (Mill, 1875).

La oposición a la escuela clásica vino de la mano de las teorías económicas socialistas, desarrolladas a finales del XIX. El marxismo toma de ésta la teoría del valor del trabajo de Ricardo como base para explicar la injusticia del sistema capitalista. Respecto al medio natural, el marxismo considera que el progreso es el resultado de la explotación incontrolada de la naturaleza, lo que, entre otras razones, llevará al fracaso del capitalismo (Camara de la fuente, M. 1993).

En 1870, surge la escuela neoclásica; estableciendo que los precios están en función de la utilidad subjetiva y se les obtiene analizando continuamente la oferta y la demanda, donde la intervención estatal se justifica cuando se da lugar a las fallas de mercado. El resultado de esta nueva visión, y, a pesar de que los bienes ambientales carecen de precios, se establecen bases para el desarrollo de la economía de los recursos naturales (Jevons, 1871; Walras, 1874; Pfaunder, 1902; Pigou, 1919; Marshall, 1920; Lotka, 1925; Hotelling, 1931; Boulding, 1945; y, Coase, 1960).

Algunos pensadores del enfoque neoclásico confían en las fuerzas del mercado y en el principio del *laissez-faire* como mecanismo adecuado para conseguir el bienestar colectivo a través del ejercicio del egoísmo individual. El valor económico de los bienes que no tienen precio de mercado, entre ellos las externalidades ambientales, se determina en función de la utilidad que las personas les atribuyen.

A partir de los postulados de John Stuart Mill, Arthur Pigou publica en 1920 su obra *Economía del bienestar*, donde codifica la noción de “efectos externos” como la “situación en la que, por funcionar mal el mercado, los costes sociales son mayores que los costes del productor, o los beneficios sociales son menores que los beneficios del productor (Camara de la fuente, M. 1993).

A partir de la década de 1970, bajo un enfoque económico (neoclásico) , surge el ambientalismo como una alternativa a una muestra productivista a raíz del boom tecnológico de la intensificación en el uso de recursos y factores (mano de obra, capital financiero y tierra) y, a un comportamiento de confort y consumismo acelerado. En esta década la contaminación se intensificó y se extendió, lo que elevó la conciencia ecológica en algunos sectores de las sociedades industrializadas, dando lugar a nuevas ideologías ambientalistas, siendo algunas de estas contrarias al crecimiento económico (Pearce y Turner, 1990).

Durante dicha década, se comienza a poner en vigencia diversos estudios sobre la necesidad de incorporar conceptos tales como, criterios de sostenibilidad del capital natural, la eficiencia económica y estudios sobre la oferta de recursos. Es por esto que en 1972 se publica un informe “Los límites al crecimiento”, dirigido por Dennis Meadows e impulsado por el Club de Roma y el Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT); el cual, se señala que:

“...el stock de capital industrial crecerá hasta un nivel tal, que se requerirán grandes cantidades de insumos, situación que contribuirá a escasearlos hasta su agotamiento y el incremento derivado en los precios de los recursos obligará a dedicar cada vez más fondos para su adquisición. En estas condiciones, la base industrial acabará por colapsar, y detrás de ella lo harán los sistemas de servicios y agricultura” (Posada y Pimiento,1997:ii).

En consecuencia, desde la perspectiva económica surgen importantes contribuciones. El modelo de Hotelling, el cual pretende identificar cuál es la pauta óptima de extracción de un recurso natural no renovable durante su vida útil, considerando la cantidad de reservas disponibles, la tecnología de explotación y la demanda, Solow (1974) identifica las reservas minerales “in situ” como bienes competitivos; mientras que, Dasgupta y Heal (1979) conceptualizan la equidad intergeneracional y discuten sobre la naturaleza del equilibrio de mercado con

agotamiento de recursos; y, más adelante, diversos estudios empíricos y teóricos pretenden corregir eventuales fallas de los primeros modelos de Hotelling (Pyndick, 1978 y 1982; Livernois y Uhler, 1987; y, Swierzbinski y Mendelsohn, 1989 en Posada y Pimiento, 2007).

Con respecto a la sostenibilidad, se buscó enlazar la equidad intergeneracional con la teoría económica, maximizando el valor presente del bienestar futuro (Riley, 1980; Pezzey, 1989; Asheim, 1991; y, Howarth 1992 en Posada y Pimiento, 2007), y manteniendo en el tiempo niveles de bienestar aceptables de acuerdo a la capacidad del ambiente para proporcionar las fuentes de bienestar deseadas, e incluyendo la capacidad de sustitución del capital natural (Hartwick, 1978; Dasgupta y Mitra, 1983; Solow, 1986; Víctor, 1991; y Atkinson y Pearce, 1993 en Posada y Pimiento, 2007).

En 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, impulsa un estudio denominado “Informe Brundtland” o “Nuestro Futuro Común”, centrado en el calentamiento global, la desertificación, los peligros que corre la capa de ozono y la declinación de la biodiversidad. En este se señala que la tecnología tiene la capacidad de mitigar, renovar y reciclar los recursos naturales (escasez relativa y sustentabilidad débil). En base a este informe, se iniciaron esfuerzos globales sobre el medio ambiente tales como: las Cumbres de la Tierra (Estocolmo, 1972; Río, 1992; Berlín, 1997; Kioto, 1997; Buenos Aires, 1998; Marrakech, 2001; y, Johannesburgo, 2002), el informe “Más allá de los límites del crecimiento” (Madrid, 1992), la reunión sobre “Pobreza, Población y Desarrollo Económico” (Copenhague, 1995), el Protocolo de Kioto (1997), la Cumbre de Bali (Indonesia, 2007) y la Cumbre de Copenhague (Copenhague, 2009).

En forma general, la agudización de los problemas ambientales ha generado que reconocimiento de la necesidad de realizar cambios en el modelo económico vigente. En consecuencia, todos los aportes teóricos se han ido consolidando para crear alternativas que de alguna manera contribuyan a generar un menor impacto ambiental y una mayor protección ecológica al planeta. En este caso, se puede observar dos tendencias

ambientalistas: la economía ambiental y de los recursos naturales (basada en el informe Brundtland) y, la economía ecológica (basada en el informe Meadows).

La “economía ambiental” y “la economía de los recursos naturales” aunque no son lo mismo, se basan teóricamente en la economía neoclásica, su análisis se fundamenta en los fallos de mercado y la internalización de las externalidades. Por una parte, difieren en que la primera se enfoca en modelos de gestión de recursos naturales (derechos de propiedad); y, la segunda, en las teorías del capital, basados en el estudio e identificación de la senda óptima de explotación de recursos renovables y no renovables. Algunos de los postulados de estas visiones son: la escasez relativa, el flujo circular cerrado del ingreso, la sustentabilidad débil, el valor instrumental de la naturaleza y el tecnocentrismo.

Mientras que, la “economía ecológica” procura subsanar la escasa atención que los neoclásicos habían prestado al incremento exponencial de los insumos de materias primas tomadas del ambiente y de los desechos que van a parar a éste. Rechazan la posibilidad de que la producción material crezca indefinidamente, utilizando explicaciones termodinámicas y físicas de los procesos económicos. En definitiva, entre sus postulados se encuentran: la escasez absoluta, la sustentabilidad fuerte, la preservación, la presencia en los recursos naturales de valores de uso y no uso, el sistema económico como sistema abierto del medio ambiente global y, el ecocentrismo.

En forma general, la evolución histórica del ambientalismo en la teoría económica ha tenido un largo proceso de conformación. Por lo que, los impactos negativos que ha tenido el medio ambiente, como resultado de la actividad económica, pueden ser estudiados de mejor forma. De esta manera, el análisis de la degradación

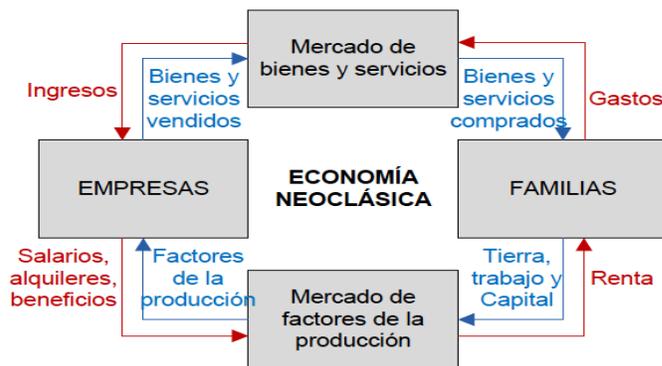
ambiental frente al crecimiento económico, apoyada en el modelo de la CKA, es un aporte para el diálogo entre economía y ambiente.

2.1 Líneas de pensamiento en la explicación de la CKA

2.1.1 Economía neoclásica, ambiental y de los recursos naturales

La economía neoclásica surge de una oposición a la teoría objetiva del valor. De acuerdo al análisis marginal, el consumidor adopta un comportamiento racional y egoísta que define así a todas sus relaciones. Además, es utilitarista porque cada individuo tiene su propia percepción de cuál es la magnitud en que su necesidad ha sido satisfecha. Por lo tanto, las decisiones económicas son individuales, y se mejorará el bienestar de la sociedad a través del interés individual.

Según Pearce y Turner, esta nueva visión abandona la teoría del valor trabajo y el precio de un bien dejó de verse como una medida del trabajo en él invertido para comenzar a medirlo en términos de escasez. De esta manera, se establece que para un bien dado, el precio de equilibrio se obtiene por la interacción de la oferta y la demanda en el mercado. Por lo que el paradigma neoclásico, basa su análisis en el criterio paretiano, donde todo equilibrio competitivo es un óptimo paretiano y bajo ciertas condiciones cualquier óptimo de Pareto es un equilibrio competitivo.



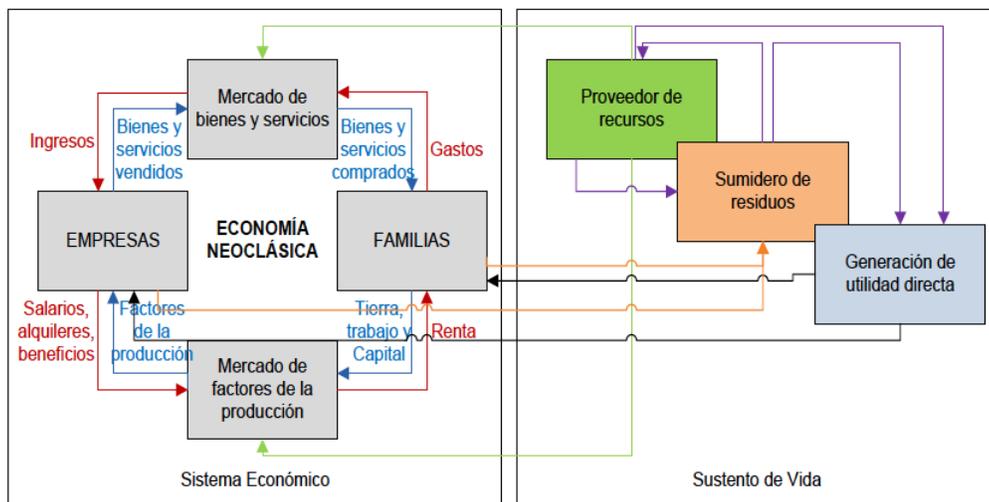
Fuente: Martínez y Roca, 2001.
Elaborado por: Suárez, 2006.

Gráfica N: 1

Sistema cerrado de la economía neoclásica

Según Van Hauwermeirn (1999), La economía ambiental y la economía de los recursos naturales constituyen una especialización de la economía tradicional, o una extensión de esta economía a un nuevo campo de análisis, siendo el medio ambiente. Es decir, que bajo algunas condiciones, el sistema de mercado es el eje central y de autoajuste de la economía.

La economía neoclásica es un sistema circular entre el mercado de bienes y servicios, los mercados de factores de producción, empresas y familias, relacionados por flujos de bienes y servicios y flujos monetarios (ver gráfico N 1). Mientras que, la economía ambiental, agrega al medio ambiente al análisis económico, el cual participa cumpliendo funciones económicas como la asimilación de residuos, la provisión de recursos, la generación de utilidad directa y el sostén de vida (ver gráfico N 2). A su vez, se deben respetar las leyes de la sustentabilidad y tener en cuenta la complementariedad y el intercambio, con respecto al nivel de vida y su relación con el capital natural.



Fuente: Martínez y Roca, 2001.
 Elaborado por: Suárez, 2008.

Gráfica N: 2

Sistema cerrado de la economía ambiental

Pearce y Turner establecen que las reglas de sustentabilidad se basan en usar siempre los recursos renovables de tal modo que el ritmo de extracción (ritmo de uso) no sea mayor que el ritmo de regeneración natural y mantener siempre los flujos de residuos al medio ambiente al mismo nivel, o por debajo, de su capacidad de asimilación; mientras que la complementariedad e intercambio buscan asegurar que, a medida que merman los recursos renovables, la reducción de sus existencias se vea compensada con el aumento de los recursos renovables y hacer posible el mantenimiento de un nivel dado, a partir de unas existencias de recursos en disminución.

De esta forma, Martínez y Roca suponen que el supuesto general sobre el que se asienta la economía ambiental es la sustentabilidad débil, que tiene dos características básicas: la complejidad de funciones que tiene el patrimonio natural, y se suponen

enormes posibilidades de sustituir capital natural por capital fabricado; destacándose el rol de la tecnología, ya que disminuye los impactos ambientales, extendiendo el proceso de vida útil de los recursos y facilita la búsqueda de sustitutos menos contaminantes. Es decir, la tecnología tiene la facultad de restituir, recuperar, renovar, reciclar, y reusar los recursos naturales y, mitigar los impactos adversos que se generan en el medio ambiente.

La economía ambiental se sustenta bajo otros supuestos básicos como la escasez relativa de los recursos, el enfoque microeconómico de los análisis individuales, la presencia de criterios de optimalidad eficientes y eficaces y, la necesidades presentes y futuras. Con la finalidad de conservar el medio ambiente a través del uso racional y limitado de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras, tomando en cuenta que los recursos son sustituibles y limitados.

Van Hauwermeirn establece que la economía ambiental considera que la contaminación no debe ser un obstáculo para el crecimiento, mientras que la economía de los recursos naturales considera que la necesidad del uso de recursos naturales, para el crecimiento debe ser un limitante para este. Así, cuando la corriente que predomina es la economía de los recursos naturales, el estudio de la extracción y el agotamiento de los recursos naturales no renovables y el manejo de los recursos renovables se convierte en un prioridad. Mientras que, cuando el dominio es de la economía ambiental, se estudia la contaminación resultante de la inyección de desperdicios de la economía en la naturaleza; simplemente hay que internalizar en los precios, costos externos, mediante impuestos o definiendo derechos de propiedad.

Los principales instrumentos y herramientas utilizados en la economía ambiental son; el manejo de incentivos (impuestos, subvenciones y permisos), métodos de valoración de los recursos naturales (costo de desplazamiento, precios hedónicos, valoración contingente, transferencia de beneficios, etc), análisis de costo beneficio para la toma de decisiones y la internalización de externalidades para el establecimiento de niveles óptimos de contaminación con criterios de mercado (Pearce y Turner, 1900).

La economía ambiental se sustenta bajo la ideología tecnocéntrica, la cual establece que las personas poseen capacidades excepcionales que les permite crear respuestas tecnológicas a los problemas ambientales. (Azqueta, 1994) define el valor instrumental de la naturaleza.

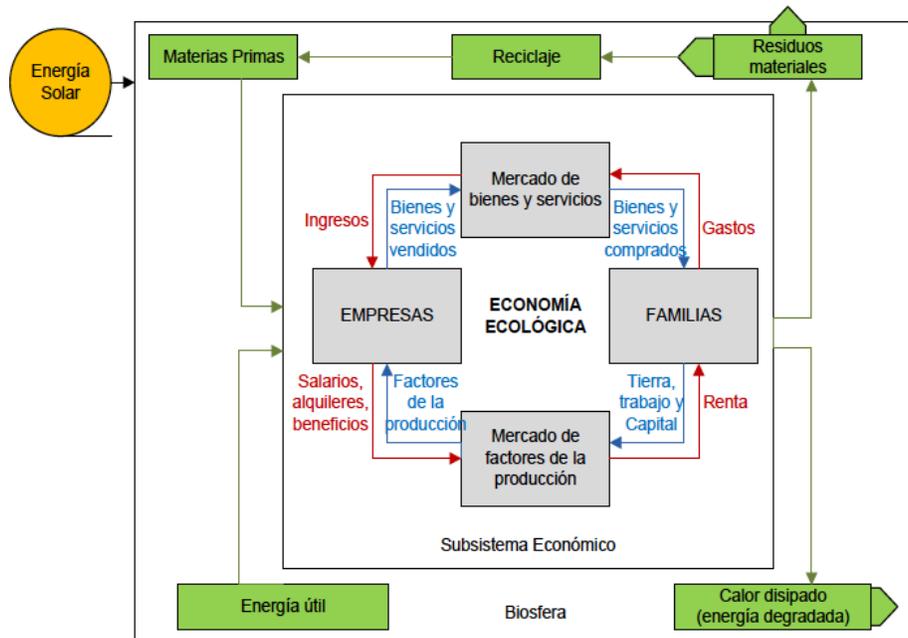
La ideología tecnocéntrica, la cual sustenta a la economía ambiental, indica que las personas están separadas del medio natural, debido a que este medio posee un valor de uso para los individuos y en última instancia, para las personas controladoras del medio natural. Es por esto que se sostiene que las personas poseen capacidades excepcionales que les permite idear nuevas respuestas tecnológicas a los distintos problemas ambientales. Esta visión considera "... las posturas que comparten una ética antropocéntrica. Para ellas, lo que confiere valor a las cosas, incluido el medio ambiente, es su relación con el ser humano: las cosas tienen valor en tanto y cuanto, y en la medida en que se lo dan las personas" (Azqueta, 1994). Esto es definido como el valor instrumental de la naturaleza.

La teoría ambiental, neoclásica y de los recursos naturales posee una gran importancia para este trabajo investigativo, al ser esto sustento teórico para verificar el cumplimiento del modelo CKA, por considerar que no es limitante la explotación de los recursos naturales ni la degradación ambiental para el crecimiento económico.

En consecuencia, surge la Economía ecológica como un nuevo enfoque a la crítica de la economía convencional. La Economía Ecológica se basa principalmente en las interrelaciones dinámicas entre el sistema físico y social y los sistemas económicos. Así pues, tiene como objetivo lograr la sustentabilidad ecológica de la economía, sin recurrir a un solo tipo de valor expresado en un único numerario, trascendiendo al incluir también la evaluación física de los impactos ambientales de la economía humana (Martínez y Roca, 2001).

Se recomienda usar los recursos renovables a una tasa que no exceda a la de renovación, usar los recursos agotables a una tasa que no supere a la de sustitución (por recursos renovables), generar residuos en la cantidad que el ecosistema sea capaz de asimilar o reciclar y, preservar la diversidad biológica. Por todo ello, cuestiona los factores económicos, sociales e institucionales que son la base de los problemas ambientales (Van Hauwermeirn,1999).

La economía como subsistema abierto dentro de la biosfera, exige para su funcionamiento un suministro adecuado de energía y materiales, la capacidad de la biosfera de absorber desechos y el mantenimiento de la biodiversidad. En este sentido, existe una descripción física de la economía en la que se hace una clara distinción entre producción y extracción, puesto que el tiempo económico para extraer y agotar recursos es muy diferente al tiempo biológico necesario para producirlos (Van Hauwermeirn, 1999).



Fuente: Martínez y Roca, 2001.
 Elaborado por: Suárez, 2006.

Gráfica N: 3

Subsistema abierto de la economía ecológica

Van Hauwermeirn interpreta que la gestión ecológica y la actividad económica como un proceso que estudia la co-evolución de las especies y de las variedades agrícolas con los seres humanos. Donde, el sistema socioeconómico no solo modifica los sistemas biológicos, sino que también se adapte a los cambios de este último, lo que implica crear nuevas instituciones, leyes y normas sociales de comportamiento.

En consecuencia, la finalidad micro de la economía ecológica toma en cuenta que los objetivos de la economía convencional (maximizar ganancias) y de la ecología convencional (maximizar el éxito reproductivo) deben manifestar los objetivos del sistema. Mientras que, la finalidad macro la economía ecológica es la sustentabilidad del sistema ecológico y económico. Así, lo que se quiere lograr es ecologizar la economía y

economizar la ecología, considerando la dificultad distributiva inter e intra-generacionales.

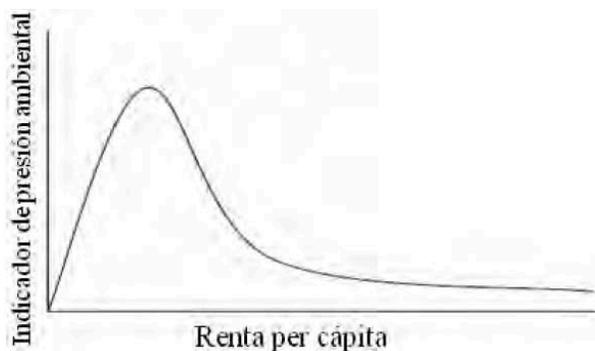
Azqueta (1994), señala que esta economía se sustenta de la ideología ecocéntrica, la cual señala que las personas forman parte del medio natural, por lo que deben de custodiar el medio ambiente (en última instancia las leyes naturales ponen límites a las personas). Por tanto, incorpora el valor intrínseco de la naturaleza, que se refiere a que la naturaleza no humana tiene un valor inherente, posee derechos morales y naturales, sin la necesidad de que algo o alguien se los otorgue.

Contraria a la economía ambiental, la economía ecológica critica varios postulados en los que se basa la CKA, en donde no se puede sacrificar al medio ambiente y a su vez esperar que el mismo crecimiento económico vaya a revertir los efectos ambientales (existen problemas de revertibilidad). En este sentido, esta escuela da sustento teórico al no cumplimiento de la CKA en dado caso de que no se llegue a determinar el modelo.

2.1.2 Modelo de la Curva de Kuznets Ambiental

En 1941, Simón Kuznets (1901-1985), premio Nobel de Economía (1971), formuló una teoría para explicar la evolución de la distribución del ingreso a través del crecimiento. Sus estudios y análisis se concentraron en contrastar dicho crecimiento con la teoría keynesiana del ahorro mediante elementos estadísticos y econométricos. Kuznets planteó que, al inicio del proceso de desarrollo, las economías presentan una distribución del ingreso bastante equitativa; pero que, a medida que se incrementa su ingreso per cápita, esta relación comienza a deteriorarse hasta alcanzar un nivel máximo

de desigualdad. A partir de ese máximo y su correspondiente renta per cápita para alcanzarlo, la equidad comienza a mejorar. Es así que, en 1955, el economista Simón Kuznets formula la hipótesis de la Curva de Kuznets (CK) (Cuevas, 2006).



Fuente: Roca y Padilla, 2003: 75.
Elaborado por: Roca y Padilla, 2003: 75.

Gráfica N:4

Curva de Kuznets Ambiental

En 1992, en un informe realizado por el Banco Mundial sobre el desarrollo, extrapoló la relación entre la desigualdad de la población y el crecimiento económico al ámbito ambiental. Este estudio trajo la conclusión de que el medio ambiente puede ser influido por los aumentos en el ingreso de los países. En este caso, en las primeras etapas del desarrollo de un país, el crecimiento económico era perjudicial para el medio ambiente hasta que se alcance un cierto nivel de ingreso per cápita, que le permita revertir esa tendencia, con lo cual el crecimiento económico estaría aportando positivamente al medio ambiente. Es así que, gráficamente se observó una relación en forma de U invertida, y fue Penayotou (1993) el primero en utilizar el término debido a la similitud con la relación de Kuznets de 1955 (Cuevas, 2006).

Se debe tomar en cuenta que, entre la relación existente entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, existen efectos explicativos de la Curva de Kuznets Ambiental, tanto en el corto, como en el mediano y largo plazo.

Según Marín y Ladino (2003) en el corto plazo, pueden darse tres efectos: el efecto escala, señala que el incremento en la escala de producción, sin alterar la estructura se genera un aumento del empleo de materias primas, las cuales aumentan la degradación ambiental a través de la contaminación. El efecto ingreso, señala que un aumento en los niveles ingreso per cápita llevan a una mayor demanda de recursos naturales y por lo tanto, a una mayor degradación ambiental. El efecto precio, implica que el crecimiento económico, basado en el PIB per cápita, depende de la variación de los precios internacionales y de la producción, por lo que, una disminución en los precios internacionales, para contrarrestar una eventual caída en el PIB per cápita, puede incidir en un aumento de la producción, causando una sobreexplotación de recursos naturales y esta a su vez generando contaminación al medio ambiente.

Gitli y Hernandez (2002), establecen que en el largo plazo pueden darse cuatro efectos: el efecto composición, señala que un país impulsa su crecimiento económico, basándose primero en el sector primario, luego en el industrial, para luego pasar al de servicios, generando un proceso de disminución de la contaminación. El efecto desplazamiento, se refiere a que un país después de alcanzar cierto crecimiento deja de exportar recursos primarios y manufacturados, para exportar conocimiento y servicios. Mientras que según Marín y Ladino, el efecto tecnológico, implica que la tecnología mediante procesos de producción eficientes genera menor contaminación. Finalmente, el efecto de las regulaciones ambientales, hace alusión a que una normativa adecuada y su aplicación generan beneficios en el medio ambiente.

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3. Fuentes de información

Para construir el modelo de la CKA en México y en Estados Unidos, de forma tal de cumplir los objetivos establecidos en el este trabajo de investigación, se utilizaron datos provenientes del monitoreo global de dióxido de sulfuro de la National Aeronautics and Space Administration, (NASA, por sus siglas en inglés). A su vez, se utilizó información proveniente de la base de datos del producto interno bruto per cápita (PIB) del Banco Mundial.

3.1 Base de Datos

En la siguiente sección se procede a estudiar el comportamiento de las variables en estudio, el Producto Interno Bruto Real per Cápita (PIBp) y las Emisiones del Dióxido de Azufre (SO₂) para Estados Unidos de América (EUA) y México (MEX) en el período 1960 – 2005.

3.1.1 Producto Interno Bruto Real Per Cápita

La renta per cápita o PIB per cápita (PIBp) es la relación que hay entre el Producto Interior Bruto (PIB) de un país y su cantidad de habitantes (POB). Este indicador se calcula dividiendo el PIB de un país por su población.

$$PIBp_t = \frac{PIB_t}{POB_t}$$

Se utiliza comúnmente como aproximado de la riqueza económica de un país, ya que numerosas evidencias muestran que la renta per cápita de una región está relacionada con la calidad de vida de sus habitantes.

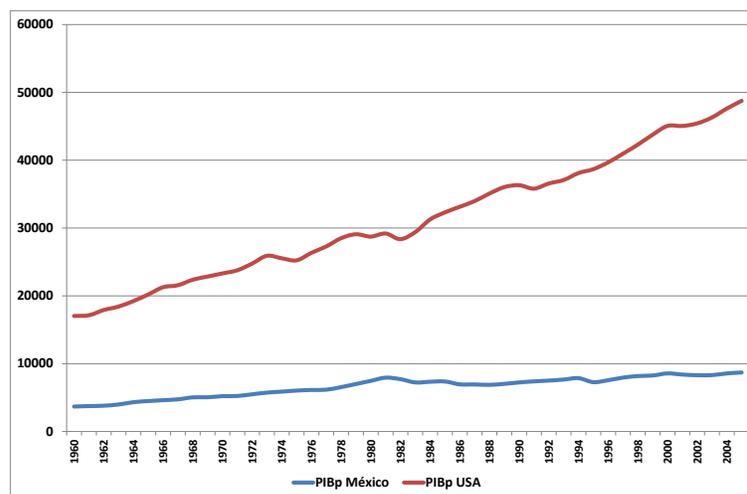
Adicionalmente, para evitar el efecto distorsionador de la Inflación en el análisis estadístico, se utilizará el Producto Interno Bruto Real a precios constantes (PIBr), permitiendo obtener el Producto Interno Bruto Real Per Cápita (PIBrp) como una medida de crecimiento económico adecuada de los países que forman parte del estudio.

$$PIBrp_t = \frac{PIBr_t}{POB_t}$$

El PIBp de Estados Unidos de América (EUA) se ubica como la octava (8^{va}) a nivel mundial con una participación en norte américa del 35%, mientras que la de México (MEX) se ubica como la quincuagésima novena (59^{na}) con una participación en norte américa del 10% según el Banco Mundial. El resto corresponde a Canadá con 29% y Groenlandia con 26%.



A continuación, se muestran las gráficas relacionadas con el Producto Interno Bruto Real Per Cápita (PIBrp) por país.

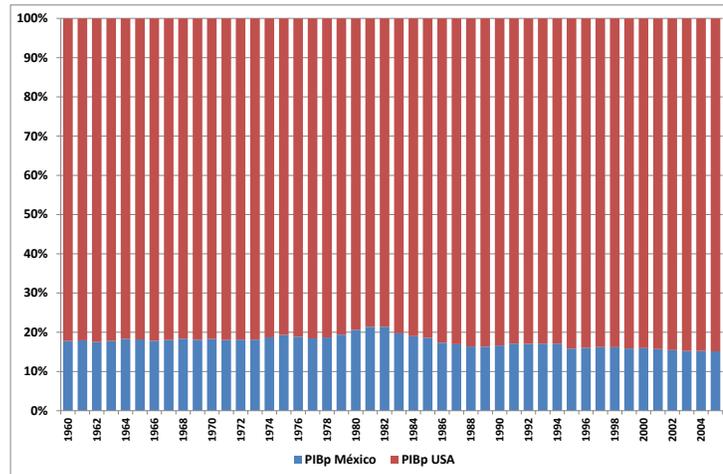


Gráfica N: 5

Producto Interno Bruto Real Per Cápita (US\$).

Fuente: Banco Mundial y cálculos propios.

En la gráfica se puede observar que ambos países están en un crecimiento constante debido a su pendiente positiva. El crecimiento económico de EUA supera ampliamente al de MEX y su tendencia indica que, a medida que pasa el tiempo esta diferencia es todavía mayor. En la siguiente gráfica se muestra la proporción del PIBrp por país.



Gráfica N: 6

Proporción del Producto Interno Bruto Real Per Cápita por País

Fuente: cálculos propios.

La proporción entre estos dos países nos indica que, en el período de estudio, MEX participa entre el 17% y 19%, mientras que EUA participa entre el 83% y 81% respectivamente. Nuevamente se puede observar que la diferencia es cada vez mayor a favor de EUA a medida que transcurre el tiempo.

Los gráficos anteriores permiten anticipar que en lo que respecta al crecimiento económico de estos países, la diferencia es muy grande a favor de EUA y ésta diferencia aumenta con el pasar de los años.

3.1.2 Emisiones de Dióxido de Azufre

Los avances recientes en el ámbito internacional y nacional con respecto a los estudios de los efectos en la salud por la exposición ambiental de sustancias tóxicas presentes en el aire ambiente, hace necesario crear, ampliar y actualizar las normas de calidad del aire sobre los niveles máximos permisibles que garanticen la protección de la salud de la población en general y de los grupos sensibles en particular.

El azufre está presente en el petróleo y el carbón en su estado natural, y se señala desde hace décadas al dióxido de azufre (SO₂) y a los óxidos de nitrógeno (NO_x) como responsables en buena medida de las «lluvias ácidas» y de la contaminación del aire que afectan a las zonas urbanas e industriales. Recientemente, se han reconocido a las emisiones de SO₂ por su contribución a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, partículas finas que son perjudiciales para la salud humana.

El dióxido de azufre se genera como emisión tanto de fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos lo que le confiere sus características potencialmente agresoras.

Se asocia con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria; constituye un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con el material particulado (PST, PM₁₀) y dar lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica.

Esta combinación, dióxido de azufre/partículas menores a 10 micrómetros de diámetro fracción inhalable de (SO₂/PM₁₀), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, es la responsable de episodios poblacionales de mortalidad en diferentes partes del mundo, así como del incremento de la morbilidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias superiores.

Estudios recientes muestran de manera consistente que la mezcla de emisiones de SO₂ provenientes de fuentes industriales y fuentes vehiculares, presentes con mayor frecuencia en las áreas urbanas, causan un aumento en la mortalidad total en adultos mayores por padecimientos cardiovasculares y respiratorios (10 a 18 casos Aprox.) y eleva el ingreso a los servicios de emergencia (19-22) por causas respiratorias y obstrucción crónica pulmonar a niveles por debajo de la media anual 0,017 ppm o 45 µg/m³ (Promedio anual). Schwartz, J. (1992).

Los valores criterio de la calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes, con base en la protección de la salud de la población, considerando a la más susceptible, además de que son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente, establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos.

En México, El Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990 - 1994 dicta que en materia de protección al ambiente se cuente con los conocimientos científicos y técnicos que permitan incorporar en los procesos productivos, tecnologías que reduzcan al mínimo el impacto sobre el medio ambiente, así como definir e incluir criterios ecológicos para regular y optimizar las actividades productivas. Esta Norma Oficial establece el valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, la cual es aplicable para todo el territorio mexicano. Bajo esta normativa, la concentración de bióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de 0.13 ppm o lo que es equivalente a 341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 24 horas una vez al año y 0.03 ppm (79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en una media aritmética anual.

Por su parte, los Estados Unidos y su Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), están constantemente realizando revisiones de los estándares permitidos de SO₂ de forma tal de poder proteger la salud de sus habitantes. A través de dichas revisiones, se determinaron los criterios requeridos de la calidad del aire para el ácido sulfúrico (SO₂). La sección 109 (A) de dicha acta, exige al administrador, promulgar leyes primarias y secundarias para los agentes de polución que hayan sido identificados como posibles causantes de problemas para su población o el medio ambiente.

En la ley “Primary National Ambient Air Quality Estándar for Sulfur Dioxide; Final Rule”, establecen en la sección 109 (B) como un estándar primario a todo aquel

nivel requerido, para un agente contaminador del aire, para conseguir y mantener los criterios de calidad del aire establecidos a juicio del ente o administrador ambiental. Estos estándares permiten un margen adecuado de seguridad y son necesario para proteger la salud pública.

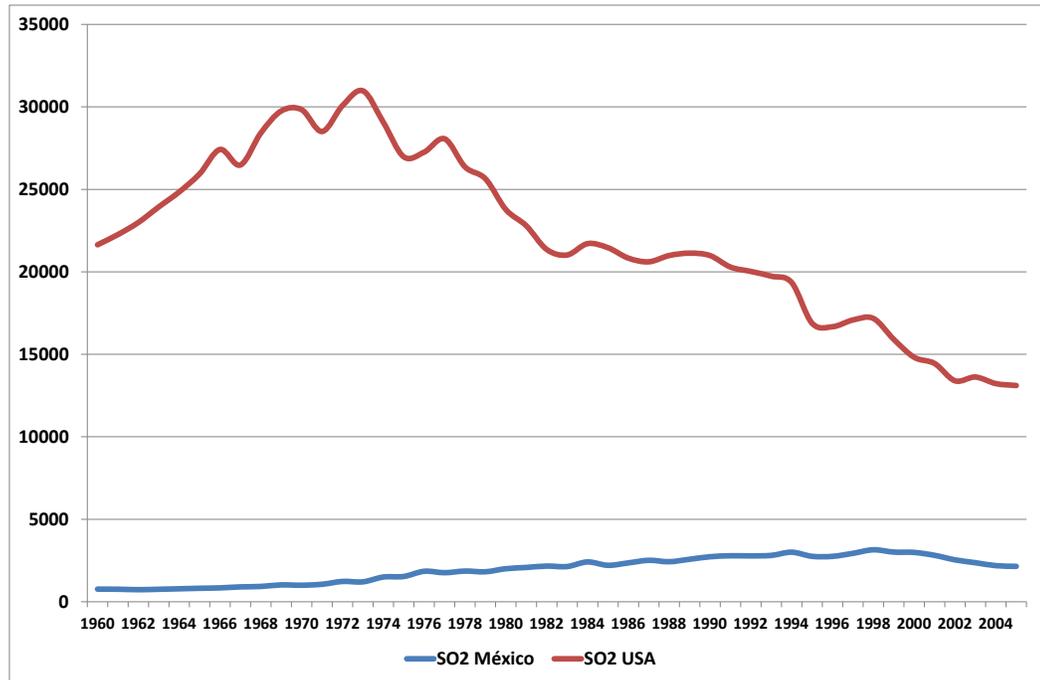
La sección 109 (b) define a un estándar secundario como aquel que especifica un nivel de calidad del aire que consigue y mantiene el nivel necesario para proteger al bienestar público de cualquier efecto adverso conocido o asociado con la presencia de cualquier contaminante en el ambiente.

History of the National Ambient Air Quality Standards for SO₂ From 1971–2012

Final Rule/Decision	Primary/Secondary	Indicator ⁽¹⁾	Averaging Time	Level ⁽²⁾	Form
1971 36 FR 8186 Apr 30, 1971	Primary	SO ₂	24-Hour	0.14 ppm	Not to be exceeded more than once per year
			Annual	0.03 ppm	Annual arithmetic average
	Secondary		3-Hour	0.5 ppm	Not to be exceeded more than once per year
			Annual ⁽³⁾	0.02 ppm	Annual arithmetic average
1973 38 FR 25678 Sept 14, 1973	Secondary	Secondary 3-hour SO ₂ standard retained, without revision; secondary annual SO ₂ standard revoked.			
1996 61 FR 25566 May 22, 1996	Primary	Existing primary SO ₂ standards retained, without revision.			
2010 75 FR 35520 Jun 22, 2010 ⁽⁴⁾	Primary	SO ₂	1-hour	75 ppb	99th percentile, averaged over 3 years ⁽⁵⁾
		Primary annual and 24-hour SO ₂ standards revoked.			
2012 77 FR 20218 April 3, 2012	Secondary	Existing secondary SO ₂ standard (3-hour average) retained, without revision.			

Tabla N: 1
Historia de los estándares de calidad del aire nacionales en Estados Unidos.
Fuente: Environmental Protection Agency

A continuación, se muestran las gráficas relacionadas con las Emisiones de SO₂ (SO₂) por país.



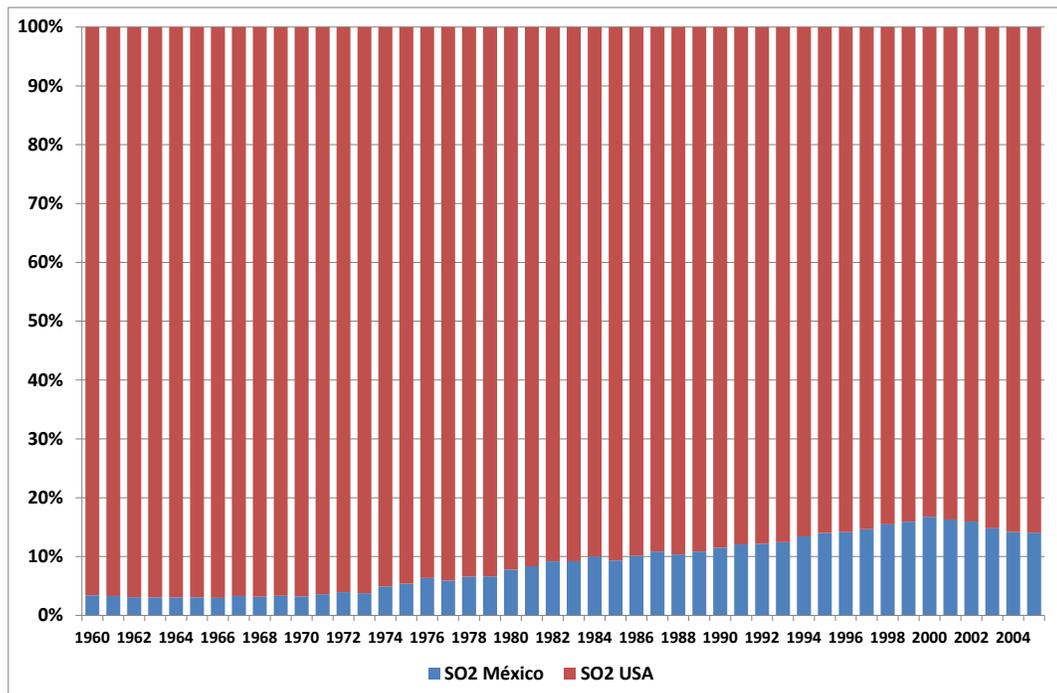
Gráfica N:7

Emisiones de SO₂ (Giga-gramos).

Fuente: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

Se puede observar en la Gráfica N:8, que los Estados Unidos muestra un crecimiento en sus emisiones hasta el año 1973, alcanzando el máximo de 30970 Giga-gramos de SO₂. Posteriormente, comienza un descenso constante, el cual puede ser debido en gran parte por las medidas ambientales adoptadas. En el caso de México, el crecimiento en sus emisiones duró hasta el año 1998, alcanzando un máximo de 3150 Giga-gramos de SO₂ y, a partir, de entonces, comienza a descender. Esto pudo suceder debido a que, en la década de los 90, México adoptó medidas ambientales para la protección del ambiente. La gráfica muestra que la reducción de emisiones de SO₂ para los Estados Unidos llega mucho antes que para México, con 25 años de diferencia, por lo que este comportamiento influenciará la Curva Kuznets Ambiental (CKA).

En la siguiente gráfica se muestra la proporción del SO₂ por país.



Gráfica N:8

Proporción de las Emisiones de SO₂ por País.

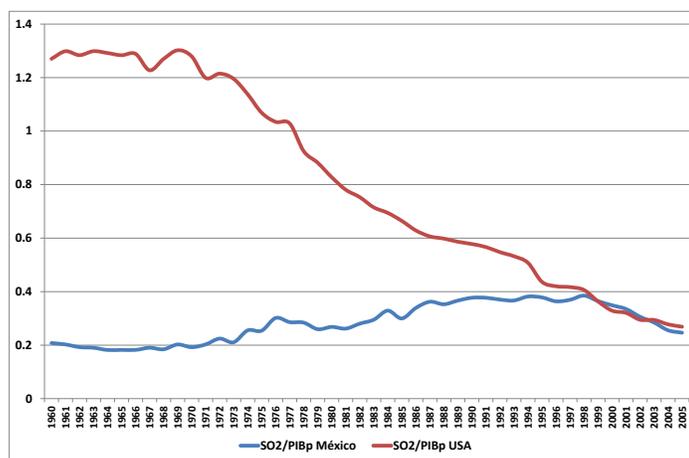
Fuente: cálculos propios.

Las Emisiones de SO₂ en México son mucho menores que en EUA debido a la gran diferencia del tamaño de sus economías. Puede observarse que la participación de México en las Emisiones de SO₂ a medida que pasa los años va aumentando notablemente hasta el año 2000 con 18%, pero luego comienza a descender.

3.2 Razón entre el Crecimiento Económico y la Emisiones de SO₂

Para dar una interpretación descriptiva de la relación económica-ambiental es fundamental observar la tendencia entre la razón del indicador de degradación ambiental (Emisiones del SO₂) sobre el indicador de crecimiento económico (Producto Interno Bruto Real Per Cápita), que será definida como el costo medioambiental de producir un dólar de PIBrp en el país. La gráfica permitirá observar de forma anticipada un posible patrón de comportamiento de la Curva Kuznets Ambiental (CKA) al graficar dicho costo medioambiental en el largo plazo. La fórmula de cálculo se muestra seguidamente:

$$r_t = \frac{SO2_t}{PIB_{rp}_t}$$



Gráfica N:9

Razón entre Emisiones de SO₂ y el Crecimiento Económico (Gigagramos/US\$).

Fuente: cálculos propios.

En la gráfica se puede notar que en EUA a partir del año 1969 el costo medioambiental del crecimiento económico empieza a disminuir a gran velocidad, pero para México el costo medioambiental del crecimiento económico aumenta hasta el año 1998 y luego decrece. A pesar de la gran diferencia en el tamaño de la economía de los Estados Unidos en comparación a México, las gráficas se interceptan en el año 1999 y luego se comportan de manera muy parecida.

El análisis de este indicador refleja que los Estados Unidos tiene un costo medioambiental menor que México, debido al crecimiento económico. En consecuencia, podemos anticipar que desde el punto de vista de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para las Emisiones de SO_2 , el desarrollo de los países es muy distinto; para Estados Unidos, la relación de la CKA está en su parte descendente de la U invertida desde hace varios años, pero para México la relación de la CKA está en su parte descendente de la U invertida hace pocos años para el periodo de estudio 1960 – 2005.

3.3 Metodología econométrica

3.3.1 Regresión Localmente Ponderada (Lowess Smoother)

La aplicación de este método no paramétrico tiene por objetivo poder estudiar y determinar la forma funcional de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Propuesto originalmente por Cleveland (1979) y desarrollado por Cleveland y Devlin (1988) se presenta una técnica denominada “locally weighted scatterplot smoother” (LOWESS) o “regresiones localmente ponderadas”, genéricamente también se la define como “local regression” (LOESS) o “regresiones locales”. Se trata de un

procedimiento no paramétrico que consiste en estimar una regresión en base a una nube de puntos (diagrama de dispersión) determinados por una relación entre variables $\{X_i, Y_i\}$ para un cierto número de observaciones $i = 1, 2, \dots, n$, mediante la realización de sucesivas estimaciones lineales. Dado que se estima una regresión en cada punto, cuando las muestras son muy grandes, el procedimiento puede llegar a ser muy tedioso (implicaría la estimación de un modelo de regresión por cada observación). Ante esto, generalmente, se recurre a un procedimiento especial de muestreo conocido como “Cleveland subsampling”, el cual provee un algoritmo que permite evitar los puntos adyacentes o muy cercanos. En la medida que el algoritmo es capaz de seleccionar los puntos más representativos sobre los que se ajusta el modelo, la pérdida de información resulta ser de segundo orden (Bergara y Masoler, 2002). En pocas palabras, se basa en ajustar modelos de regresión polinómicos locales para estimar cada punto por MCO, luego unir las estimaciones y finalmente generar el gráfico no paramétrico.

El objetivo es modelizar una variable dependiente Y_i en función de una variable explicativa X_i , donde X_i es un vector $1 \times p$ de variables exógenas. En tal cuestión, la función que hará posible este tipo de suavización bivariada (suavizadores de diagramas de dispersión) se la denotará con la letra g .

Tomando en cuenta que para dichas regresiones se utiliza sólo un subconjunto de datos, g , será una regresión localmente robusta, que distribuya los errores para establecer su forma funcional. Este proceso conocido como suavización, consiste en aproximar la función g a la regresión:

$$Y_i = g(X_i) + \varepsilon_i$$

Donde g es la curva de respuesta media, función de ajuste $\mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}$ (función real de variable vectorial) que no necesita ser paramétrica, y, ε , es el error aleatorio, el cual

para efectos de hacer inferencia, se asume que se distribuye normalmente con media cero y varianza σ^2 (Acuña, 2008).

Para ponderar g se plantea la regresión lineal:

$$g(X_i) = \alpha + \beta X_i$$

Donde la media condicional de Y para un valor dado de X es $g(X_i) = E(Y|X_i)$. De esta forma, se logra que bajo un modelo sencillo se ajusten los datos localmente, aproximando la media condicional por un promedio de los valores observados de las Y , que están dentro de un área determinada de X (área denominada vecindad). Cada punto seleccionado será estimado por mínimos cuadrados ponderados, considerando únicamente las observaciones cercanas al punto donde se realiza la regresión. Dicha aproximación es definida usando la distancia euclidiana. Estos pasos se repiten para cada observación en el conjunto de los datos y/o para otros puntos dentro del campo de variación de la variable explicativa.

Para esto se necesita seleccionar un parámetro de suavización, estimando el ancho de banda o ventana (bandwidth) que encierra los puntos cercanos o vecinos al punto que se quiere estimar, el cual sirve para controlar el grado de ajuste de la función. El programa econométrico STATA predetermina un bandwidth de 0.8, el cual explica que el 80% de los datos se utilizan para suavizar cada punto. Si por ejemplo se especifica explícitamente un ancho de banda de 0.4, se pueden seguir los datos originales más de cerca. En el presente estudio se asume para el análisis un bandwidth de 0,8 a pesar de que, es posible modificarlo, pero en el contexto no varía significativamente. En base a este proceso se elige una función de ponderación que le dé mayor peso a las observaciones más cercanas y menor peso a las observaciones más alejadas (Servy et al., 2006).

Considerando un punto X_0 , hallamos una vecindad o entorno $N(X_0)$ delimitada por aquellas k vecinas más cercanas. Se calcula la brecha existente $\Delta(X_0)$ entre X_0 y el punto más cercano de la vecindad, resultados que se incluyen en la siguiente función para determinar los pesos w_i :

$$W(X_i, X_0) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{|X_i - X_0|}{\Delta(X_0)_{\alpha N}} \right)^3 \right]^3 & \text{si } |X_i - X_0| < \Delta(X_0)_{\alpha N} \quad \text{y} \quad \frac{|X_i - X_0|}{\Delta(X_0)_{\alpha N}} < 1 \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases}$$

Donde, α es el parámetro de suavización ($0 < \alpha < 1$), $|X_i - X_0|$ es el valor absoluto de la distancia respecto a la observación evaluada, αN es la cantidad de observaciones cercanas al punto evaluado que van a ser incluidas en la regresión y $\Delta(X_0)$ es la distancia más pequeña en el rango αN considerado. Cleveland además, propuso que se podría usar las funciones pesos de la regresión robusta para protegerse de la presencia de outliers (valores atípicos).

Los valores estimados por estas regresiones se grafican en el diagrama de dispersión y se unen produciendo una curva de regresión no paramétrica, a veces llamada curva del “vecino más próximo”.

3.3.2 Regresión con Datos de Panel

La aplicación de este método paramétrico tiene por objetivo determinar si existe una Curva de Kuznets Ambiental (CKA) regional formada por un grupo de países.

Los paneles son un conjunto de datos representativos observados con cierta regularidad que contiene información de corte transversal (en este caso por países) y tomadas en un periodo de tiempo (en este caso anualmente).

3.3.2.1 Clasificación de los Modelos Econométricos

Los modelos que se utilizan en el análisis económico o de cualquier otra índole, se pueden clasificar desde dos puntos de vista según (Martín, G.1997): i) Según los datos utilizados y ii) según las relaciones supuestas entre las variables. Por el objetivo de esta investigación, se analizará el primero de los dos criterios. Con base en el segundo criterio, los modelos se clasificarían en uniecuacionales, multiecuacionales, lineales y no lineales.

En el análisis de la información (económica, social, empresarial, comercial, etc.) pueden existir diferentes dimensiones, sobre las cuales interesa obtener conclusiones derivadas de la estimación de modelos que traten de extraer relaciones de causalidad o de comportamiento entre diferentes tipos de variables, a partir de los datos disponibles.

Una de estas dimensiones constituye el análisis de series de tiempo, la cual incorpora información de variables y/o unidades individuales de estudio durante un período determinado de tiempo (dimensión temporal). En este caso, cada período de tiempo constituye el elemento poblacional y/o muestral. Por su parte, existe otra dimensión que no incorpora el aspecto temporal, sino que más bien representa el análisis de la información para las unidades individuales de estudio, en un momento determinado del tiempo (dimensión estructural). En este tipo de análisis, el cual se denomina de corte transversal, el elemento o unidad muestral no lo constituye el tiempo sino las unidades de análisis.

A diferencia de lo mencionado en el apartado anterior, un modelo econométrico de datos de panel incluye una muestra de agentes económicos o de interés (individuos, empresas, bancos, ciudades, países, etc.) para un período determinado de tiempo, combinando ambos tipos de datos (dimensión temporal y estructural). A manera de ejemplo, se puede disponer de datos mensuales de los ingresos obtenidos por un grupo de cinco bancos venezolanos durante un período de 48 meses, lo cual sería una base de datos mixta de serie temporal y corte transversal, constituyendo un panel de datos. En este ejemplo, los elementos muestrales serían el tiempo y los bancos comerciales.

El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos en panel, es capturar la heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio, así como también en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar ni con estudios de series temporales ni tampoco con los de corte transversal. Esta técnica permite realizar un análisis más dinámico al incorporar la dimensión temporal de los datos lo que enriquece el estudio, particularmente, en períodos de grandes cambios. Esta modalidad de analizar la información en un modelo de panel es muy usual en estudios de naturaleza microeconómica. La aplicación de esta metodología permite analizar dos aspectos de suma importancia cuando se trabaja con este tipo de información y que forman parte de la heterogeneidad no observable: i) los efectos individuales específicos y ii) los efectos temporales (Tamara, 1997).

En lo que se refiere a los efectos individuales específicos, se dice que estos son aquellos que afectan de manera desigual a cada uno de los agentes de estudio contenidos en la muestra (individuos, empresas, bancos) los cuales son invariables en el tiempo y que afectan de manera directa las decisiones que tomen dichas unidades. Usualmente se identifica este tipo de efectos con cuestiones de capacidad empresarial, eficiencia operativa, capitalización de la experiencia, acceso a la tecnología, etc.

Los efectos temporales serían aquellos que afectan por igual a todas las unidades individuales del estudio pero que no varían en el tiempo. Este tipo de efectos pueden asociarse, por ejemplo, a los choques macroeconómicos que pueden afectar por igual a todas las empresas o unidades de estudio.

3.3.2.2 Especificación General de un Modelo de Datos Panel

La especificación general de un modelo de regresión con datos de panel es la siguiente:

$$Y_{it} = \alpha_{it} + X_{it}\beta + u_{it} \quad [1]$$

Con $i = 1, 2, \dots, N$; $t = 1, 2, \dots, T$

Donde i se refiere al individuo o a la unidad de estudio (corte transversal), t , a la dimensión en el tiempo, α , es un vector de intercepto de n parámetros, β , es un vector de K parámetros y X_{it} es la i -ésima observación al momento t para las K variables explicativas. En este caso, la muestra total de las observaciones en el modelo vendría dado por $N \times T$.

A partir de este modelo general, y con base en ciertos supuestos y restricciones acerca del valor de algunos de los parámetros, se pueden derivar algunas otras variantes de modelos de datos de panel, las cuales se describirán con más detalle en la sección posterior.

Es usual interpretar los modelos de datos de panel a través, de sus componentes de errores. El término de error U_{it} incluido en la ecuación [1], puede descomponerse de la siguiente manera:

$$U_{it} = \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad [2]$$

La μ_i representa los efectos no observables que difieren entre las unidades de estudio pero no en el tiempo, por ejemplo: para δ_t se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo pero no entre las unidades de estudio. Finalmente, ε_{it} se refiere al término de error puramente aleatorio.

La mayoría de las aplicaciones con datos de panel utilizan el modelo de componente de error conocido como “one-way” para el cual $\delta_t = 0$. Este tipo de análisis supone que no existen efectos no cuantificables que varíen en el tiempo, pero no entre las unidades individuales de estudio. Existe, además, el modelo “two-way”, en el cual, el componente de error $\delta_t \neq 0$ pretende capturar efectos temporales específicos (choques) que no están incluidos en la regresión (Baltagi 1999). Las diferentes variantes para el modelo “one-way” de componentes de errores surgen de los distintos supuestos que se hacen acerca del término μ_i . Pudiendo presentarse tres posibilidades:

- El caso más sencillo es el que considera al $\mu_i = 0$, generando, la no existencia heterogeneidad no observable entre los individuos o firmas. Dado lo anterior, los U_{it} satisfacen todos los supuestos del modelo lineal general, por lo cual, el método de estimación de mínimos cuadrados clásicos produce los mejores estimadores lineales e insesgados.
- La segunda posibilidad consiste en suponer a μ_i un efecto fijo y distinto para cada firma. En este caso, la heterogeneidad no observable se incorpora a la constante del modelo.
- La tercera alternativa es tratar a μ_i como una variable aleatoria no observable que varía entre individuos pero no en el tiempo.

Seguidamente, se analizarán los principales modelos, a partir, de la especificación general y de acuerdo con la forma de incorporar la heterogeneidad no observada.

3.3.2.3 Modelo de Efectos Fijos

Como se indicó brevemente, una posibilidad es explicar los datos con el modelo de efectos fijos considerando que existe un término constante diferente para cada individuo, y supone que los efectos individuales son independientes entre sí.

Con este modelo se considera que las variables explicativas afectan por igual a las unidades de corte transversal y que éstas se diferencian por características propias de cada una de ellas, medidas por medio del intercepto. Es por ello que, los N interceptos se asocian con variables dummy y con coeficientes específicos para cada unidad, los cuales se deben estimar. Para la i -ésima unidad de corte transversal, la relación es la siguiente:

$$Y_{it} = \alpha_i + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad [3]$$

Donde el subíndice i representa un vector columna de unos. Debe hacerse notar que en este modelo se presenta una pérdida importante de grados de libertad.

3.3.2.4 Modelo de Efectos Aleatorios.

A diferencia del modelo de efectos fijos, el modelo de efectos aleatorios considera que los efectos individuales no son independientes entre sí, sino que están distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado. Una práctica común en el análisis de regresión, es asumir que, el gran número de factores que afecta el valor de la(s) variable(s) dependiente(s), que no han sido incluidas explícitamente como variables independientes del modelo, pueden resumirse apropiadamente en la perturbación aleatoria.

Así, con este modelo se considera que tanto el impacto de las variables explicativas como las características propias de cada uno son diferentes. El modelo se expresa algebraicamente de la siguiente forma:

$$Y_{it} = (\alpha + \mu_i) + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad [4]$$

Dónde: μ_i viene a representar la perturbación aleatoria que permitiría distinguir el efecto de cada individuo en el panel. Para efectos de su estimación se agrupan los componentes estocásticos, y se obtiene la siguiente relación:

$$Y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + U_{it} \quad [5]$$

Donde $U_{it} = \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$ se convierte en el nuevo término de la perturbación, U_{it} no es homocedástico, y por último, μ_i , δ_t , ε_{it} corresponden al error asociado con las series de tiempo (δ_t), a la perturbación de corte transversal (μ_i) y el efecto combinado de ambas (ε_{it}).

El método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), no es aplicable dado que no se cumplen los supuestos que permiten que el estimador sea consistente. Por lo que, es preferible en este caso utilizar el método de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG), cuyas estimaciones son superiores al de MCO en caso de no cumplirse los supuestos tradicionales y son similares en caso contrario.

3.3.3 Cointegración de Series de Tiempo

La aplicación de este método paramétrico tiene por objetivo poder determinar si es posible estimar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por países teniendo en cuenta únicamente sus variables internas.

La econometría de series temporales se encuentra con un problema al medir las relaciones entre aquellas variables que tienen una tendencia temporal. Este problema puede llegar a que se consideren significativas relaciones completamente espurias.

Cuando, en lugar de series estacionarias, se utilizan datos de panel el problema también puede surgir. Las variables que tienen una tendencia temporal definida se denominan “no estacionarias”.

Las estimaciones de regresiones con variables no estacionarias son espurias salvo que estas estén cointegradas. Dos variables no estacionarias cointegradas son aquellas cuyos residuos son estacionarios. Si los residuos son estacionarios las estimaciones de variables no estacionarias son superconsistentes (Montero, 2013).

3.3.3.1 Series No Estacionarias

Una serie es estacionaria cuando su valor medio es estable. Por el contrario, es no estacionaria cuando sistemáticamente crece o disminuye en el tiempo.

Intuitivamente se puede entender que las relaciones entre variables no estacionarias pueden estar sesgadas y, sin embargo, tener errores estándar muy bajos y ajuste (R^2) muy altos. Por ejemplo el Índice de Precios al Consumidor en Venezuela ha crecido en los últimos 9 años y la Demanda de Dinero también. Una regresión de una sobre otra es posible que arroje resultados significativos y un buen ajuste, sin embargo, la relación entre ambas no es directa, en este caso estaríamos ante lo que se denomina una regresión espuria (Granger Newbold, 1974). En otras ocasiones podemos no conocer si dos variables no estacionarias tienen relación la una sobre la otra (Por ejemplo, salud y descentralización) o que, teniendo alguna relación, en qué grado la relación entre ambas

es correcta o espuria (por ejemplo, crecimiento económico y crecimiento de la cantidad de dinero).

Algunas de las propuestas iniciales para solucionar este problema que propusieron Granger y Newbold (1977) fueron: ser más exigente con las t , para la significación de las estimaciones o convertir las series en estacionarias mediante ajustes tendenciales, ajustes con los residuos, vectores autoregresivos, etc. Sin embargo, la primera solución es errónea (ya que las t crecen con las observaciones de la muestra) y la segunda es insatisfactoria, porque puede ser arbitraria y hace perder información de las variables. Por ello, los mayores esfuerzos posteriores se han dedicado a intentar determinar los límites dentro de los cuales una regresión es correcta o espuria.

Se dice de una serie temporal x_t que es estacionaria si:

$$\begin{aligned} E(x_t) &= \mu && \text{Estacionariedad en Media.} \\ \text{Var}(x_t) &= \sigma^2 && \text{Estacionariedad en Varianza.} \\ \text{Cov}(x_t, x_{t-k}) &= \gamma_k && \text{Estacionariedad en Covarianza.} \end{aligned}$$

Para determinar, si una serie de tiempo es o no estacionaria, se puede observar el gráfico de la variable, que por lo general, si esta crece o decrece monótonamente, es una forma típica de una serie no estacionaria. En cambio, si los shocks son persistentes o no, se puede establecer un patrón de comportamiento definitivo, concluyendo que es una forma típica de una serie estacionaria. Representar la función de autocorrelación mediante un correlograma y visualizar como es su comportamiento, por lo general, un correlograma que desciende lentamente, es típico para series no estacionarias; y, si desciende rápidamente o de forma cuasialeatoria, es típico para series estacionarias. También se pueden realizar tests la raíz unitaria, como el de Dickey-Fuller (DF) o Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Otros test interesantes son B de Bartlett, Q de

Pormateau o Ljung-Box y Z de Phillips-Perron. Estas últimas pruebas determinan si no existe una relación entre el incremento de cada valor y el inmediato anterior; es decir, plantean una hipótesis nula sobre la presencia de una raíz unitaria (Montero, 2007). Así, si el coeficiente de los residuos retardados es igual a uno, se dice que la variable dependiente presenta problemas de raíz unitaria y, por lo tanto, la serie es no estacionaria, presentando problemas de autocorrelación. Sin embargo, para concluir que es igual a 1, el estadígrafo t de student, el cual se conoce como (τ), cuyos valores críticos no siguen la distribución de la τ de student, sino que Mackinnon construyó otras tablas (Gujarati, 2002).

Los modelos de regresión a estimar para determinar si hay presencia de raíz unitaria son las siguientes:

$$\begin{array}{ll}
 x_t = \rho x_{t-1} + u_t & \text{Si } \rho = 1 \text{ hay Caminata Aleatoria Pura.} \\
 x_t = \alpha + \rho x_{t-1} + u_t & \text{Si } \rho = 1 \text{ hay Caminata Aleatoria con Deriva.} \\
 x_t = \alpha + \beta t + \rho x_{t-1} + u_t & \text{Si } \rho = 1 \text{ hay Caminata Aleatoria con Deriva y Tendencia} \\
 & \text{Lineal.}
 \end{array}$$

Para obtener el estadístico de contraste se divide el coeficiente ρ estimado por su error estándar para calcular el estadístico de DF conocido como Tao (τ) y se consultan las tablas de DF para ver si la hipótesis nula $\rho = 1$ es rechazada. Si el valor absoluto calculado del estadístico (es decir $|\tau|$) excede los valores absolutos críticos de DF, entonces se rechaza la hipótesis nula de que la serie de tiempo dada no es estacionaria. Si por el contrario, éste es menor que el valor crítico, la serie de tiempo es no estacionaria (Gujarati, 2002). Si se efectúa la regresión transformada en la forma de:

$$\begin{array}{ll}
 \Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + u_t & \text{Si } \rho = 1 \text{ hay Caminata Aleatoria Pura.} \\
 \Delta x_t = \alpha + (\rho - 1)x_{t-1} + u_t & \text{Si } \rho = 1 \text{ hay Caminata Aleatoria con Deriva.}
 \end{array}$$

$\Delta x_t = \alpha + \beta t + (\rho - 1)x_{t-1} + u_t$ Si $\rho = 1$ hay Caminata Aleatoria con Deriva y Tendencia Lineal.

El estadístico estimado τ usualmente tiene un signo negativo. Por consiguiente, un valor negativo de τ grande generalmente es un indicativo de estacionariedad. En este caso, H_0 es $\delta = 0$.

Suponiendo que X_t y Y_t son series de tiempo no estacionarias, se dice que dichas variables están cointegradas, cuando las variables son integradas de orden uno, $I(1)$, es decir, ambas variables se convierten en estacionarias luego de transformarlas en primera diferencia ($X_t, Y_t \sim I(1)$ o de manera equivalente $\Delta X_t, \Delta Y_t \sim I(0)$). Puede practicarse una regresión del tipo $Y_t = \alpha + \beta X_t + u_t$ que, generalmente, tendrá un buen ajuste. En este caso, los residuos, $u_t = Y_t - (\alpha + \beta X_t)$ deben ser integrados de orden cero, $I(0)$, es decir, deben ser estacionarios o ruido blanco, existiendo así una relación a largo plazo entre las variables X_t y Y_t . Para probar la cointegración sólo hay que estimar los residuos del modelo de regresión y pasar la prueba de Dickey-Fuller Aumentada a los residuos estimados. Si se cumple la hipótesis nula, entonces X_t y Y_t están cointegradas y los estimadores son superconsistentes (Montero, 2007).

En este sentido, El método de Cointegración de Engle y Granger tiene tres fases o etapas: a) estudio de la estacionariedad de las series de tiempo b) pruebas de cointegración y c) método de corrección de errores (MCE).

3.3.4 Regresiones Aparentemente No Relacionadas.

La aplicación de este método paramétrico tiene por objetivo poder determinar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por países, tomando en cuenta sus propias variables

internas y los efectos de la relación ingreso económico – contaminante del medio ambiente provocado por los demás países de la región.

Usualmente, cuando la econometría avanzada hace referencia a los modelos de ecuaciones simultáneas, se piensa de inmediato en aquellos sistemas en los que se especifican variables endógenas en algunas ecuaciones como predeterminadas en otras ecuaciones del mismo modelo. Bajo esta especificación existe entonces una correlación identificable de los términos de error entre las ecuaciones del sistema. Para las ecuaciones simultáneas, la aplicación del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) resulta en estimadores sesgados y con errores cuadrados medios que pueden ser bastante elevados, especialmente en muestras pequeñas. De aquí se utilizan procedimientos especializados tales como la estimación recursiva, los mínimos cuadrados en dos y tres etapas (MC2E, MC3E), o bien la estimación máximo verosímil con información limitada (LIML, de Limited-Information Maximum Likelihood) o con información completa (FIML, de Full-Information Maximum Likelihood).

Sin embargo, considérese un conjunto de ecuaciones de regresión de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Y_{1t} &= \beta_{10} + \beta_{11}X_{1t} + \dots + \beta_{1k}X_{kt} + u_{1t} \\ Y_{2t} &= \beta_{20} + \beta_{21}X_{1t} + \dots + \beta_{2k}X_{kt} + u_{2t} \\ Y_{3t} &= \beta_{30} + \beta_{31}X_{1t} + \dots + \beta_{3k}X_{kt} + u_{3t} \\ \\ Y_{Mt} &= \beta_{M0} + \beta_{M1}X_{Mt} + \dots + \beta_{Mk}X_{kt} + u_{Mt} \end{aligned}$$

En este sistema existen M variables endógenas denotadas como Y_{Mt} , cada una asociada con un término de error u_{Mt} , así como con un conjunto de K variables exógenas X_{kt} . La relación entre las variables endógenas y las exógenas está dada por los coeficientes β_k . El número de observaciones para cada variable (endógenas, exógenas y términos de error) es de N .

En principio se podría razonar que, al no observarse variables endógenas Y_{Mt} como variables predeterminadas en otras ecuaciones del sistema, cada una de las ecuaciones podría ser estimada con el uso de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Esto sería posible si las ecuaciones fueran completamente independientes en el sentido de que la variabilidad de alguna de las variables endógenas no afectara el comportamiento de alguna otra ecuación. En el vocabulario econométrico sería equivalente decir que, la matriz de varianzas y covarianzas del sistema de ecuaciones tiene triángulos iguales a cero. En otras palabras, sería una matriz con una diagonal diferente de cero y cuyas entradas serían las varianzas de los términos de error de cada ecuación.

Esta conjetura, sin embargo, podría ser incorrecta si se detectara algún tipo de movimiento simultáneo de todas las ecuaciones, originado por una supuesta relación contemporánea entre los términos de error que no se origina por la presencia de variables endógenas, como variables predeterminadas en las ecuaciones. Es decir, las regresiones que no están aparentemente correlacionadas, sí lo estarían por medio de correlaciones implícitas, sin modelar específicamente, entre los términos de error. Las siglas SUR provienen del nombre que recibe en inglés este sistema de ecuaciones (Seemingly Unrelated Regressions).

3.3.4.1 Especificación del Modelo General

Suponga que la representación matricial de la m -ésima ecuación del sistema es de la siguiente forma:

$$Y_m = X_m\beta_m + U_m \quad m = 1, 2, \dots, M$$

Donde los vectores Y y U son de orden $(N \times 1)$, X es una matriz de orden $(N \times Km)$, donde Km es el número de variables exógenas en la m -ésima ecuación, y β_m es un vector de parámetros de orden $(Km \times 1)$. Al considerar las M ecuaciones de forma matricial se tiene la siguiente representación:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & X_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & X_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \vdots \\ \beta_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_M \end{pmatrix}$$

La cual se puede expresar, en forma matricial, como:

$$Y = X\beta + U$$

Donde la dimensión de Y es $(MN \times 1)$, la de X es $(MN \times K)$, la de β es $(K \times 1)$, y la de U es $(MN \times 1)$. En este caso, $K = \sum_{m=1}^M K_m$

Dado que U_m es el valor observado del término de error de la m -ésima ecuación en el i -ésimo período, el supuesto de correlación contemporánea de los errores, pero no correlación serial, implica que $E(U_{mi}U_{js}) = \sigma_{mj}$, si $i = s$, pero es igual a cero si, $i \neq s$. En otras palabras, cuando los períodos i y s coinciden, existe una covarianza diferente de cero entre los errores de las ecuaciones m y j . En forma matricial, se puede especificar una matriz de varianzas y covarianzas para las ecuaciones m y j como $E(U_m U_j') = \sigma_m I_N$, donde I es la matriz identidad de orden N . Para los M vectores de términos de errores existe una matriz de varianzas y covarianzas que asume la siguiente forma:

$$\Phi = E(UU') = \begin{pmatrix} \sigma_{11}I_N & \sigma_{12}I_N & \dots & \sigma_{1n}I_N \\ \sigma_{21}I_N & \sigma_{22}I_N & \dots & \sigma_{2n}I_N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{M1}I_N & \sigma_{M2}I_N & \dots & \sigma_{MM}I_N \end{pmatrix} = \Sigma \times I_N$$

Donde \times es el producto Kronecker y Σ la matriz de varianzas y covarianzas de la forma:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \dots & \sigma_{MM} \end{bmatrix}$$

La matriz Σ es simétrica, por lo que se supone que es positiva definida y que no es singular. El producto Kronecker es la expansión de cada una de las entradas de una matriz (en este caso las varianzas y covarianzas de la matriz Σ) por una matriz (en este ejemplo I_N). Se dice que una matriz es simétrica cuando las entradas de sus triángulos superior e inferior son iguales. Nótese en esta estructura matricial que el producto $\sigma_{mj}I_N$ denota que los términos de error dentro de cada ecuación son homocedásticos (varianza del error constante) y que no tienen autocorrelación en el tiempo.

La estimación del sistema de ecuaciones simultáneas aparentemente no relacionadas con información completa (SUR) se obtiene a partir de la siguiente fórmula matricial:

$$\hat{\beta} = (X' \Phi^{-1} X)^{-1} X' \Phi^{-1} Y = [X' (\Sigma^{-1} \times I_N) X]^{-1} X' (\Sigma^{-1} \times I_N) Y$$

La eficiencia de los estimadores SUR depende de la correlación contemporánea de los términos de error entre ecuaciones. Así cuanto más elevada es dicha correlación mayor será la ganancia en eficiencia del estimador generalizado. En caso contrario, no hay una ganancia importante de aplicar el método SUR frente al MCO, pues los triángulos de la matriz Σ se aproximarán a cero.

Dentro de las ventajas del método se identifican las siguientes: la posibilidad de corregir el error de considerar independientes a varias ecuaciones de regresión, cuando en realidad están asociadas por medio de los términos de error; cualquier ganancia en eficiencia tiende a ser mayor cuando las variables explicativas en las diferentes ecuaciones no están altamente correlacionadas; con el método SUR las significancias de las estimaciones mejoran con relación a MCO. Adicionalmente, con el método SUR se evitan los problemas de heterocedasticidad y endogeneidad.

CAPÍTULO IV

Resultados y Discusión

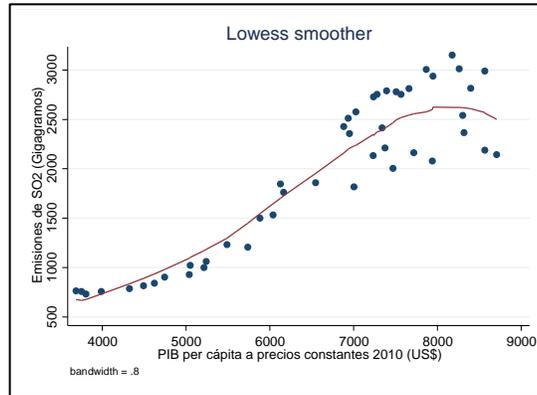
4. Análisis de la relación entre las emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento económico

4.1 Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de Regresión Localmente Ponderada

Con el objetivo de observar la forma funcional o comportamiento de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para las Emisiones de SO₂ en Estados Unidos y México en el período 1960 – 2005, utilizamos el Método no Paramétrico de Regresión Localmente Ponderada Mediante Mínimos Cuadrados Generalizados (Lowess Smoother).

Este método permite buscar la curva de mejor ajuste sin la necesidad de que se estimen parámetros poblacionales (método no paramétrico) de las Emisiones de SO₂ como variable dependiente y el Producto Interno Bruto Real Per Cápita (PIBrp) como variable independiente. Para nuestro estudio primero se realizará la regresión localmente ponderada para cada uno de los países individualmente para observar la CKA de los países por separado.

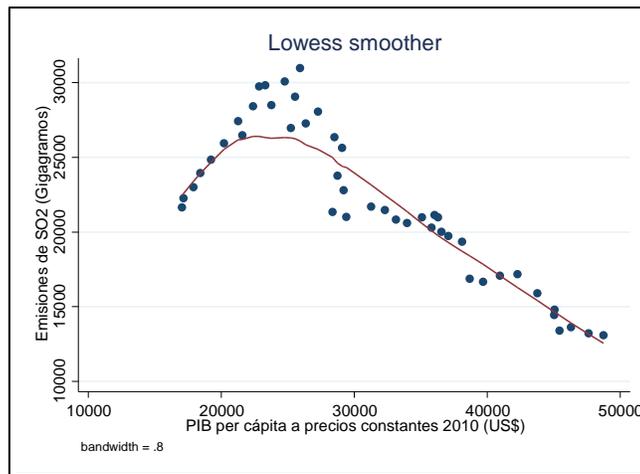
4.1.1 Regresión Localmente Ponderada en México (1960 – 2005)



Gráfica N: 10

Fuente: cálculos propios con STATA (ancho de banda en 80%).

4.1.2 Regresión Localmente Ponderada en Estados Unidos de América (1960 – 2005)



Gráfica N: 11

Fuente: cálculos propios con STATA (ancho de banda en 80%).

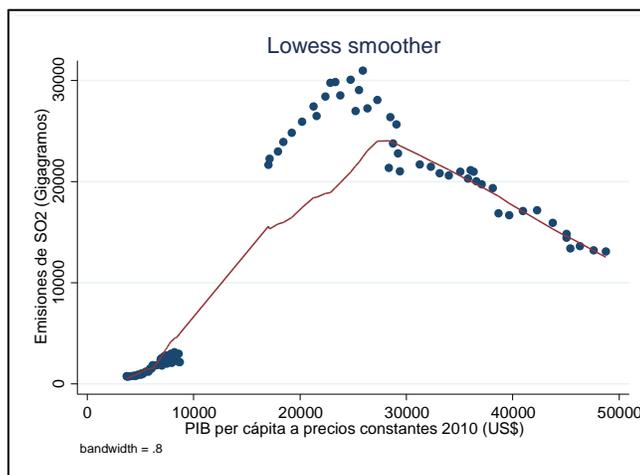
Al estudiar la forma funcional de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para cada país, separadamente, se puede notar que en ambos casos la curva tiene forma de

una U invertida, lo que indica que el crecimiento económico (PIBrp) tiene una relación negativa o inversa con las Emisiones de SO₂.

El comportamiento de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) indica que en Estados Unidos hace varios años se encuentra en la parte descendente de la U invertida (el crecimiento económico provoca una reducción de las emisiones de SO₂). En el caso de México, el comportamiento de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) indica que hace pocos años se encuentra en la parte descendente de la U invertida. Estos resultados obtenidos por la Regresión Localmente Ponderada son coherentes con los análisis hechos previamente con la razón de las Emisiones de SO₂ y el crecimiento económico.

En la siguiente gráfica se muestra la regresión localmente ponderada para ambos países simultáneamente para observar la CKA de los países de manera global.

4.1.3 Regresión Localmente Ponderada Global (1960 – 2005)



Gráfica N: 12

Fuente: cálculos propios con STATA (ancho de banda en 80%).

La nube de puntos en el diagrama de dispersión muestra dos particiones bien diferenciadas de las observaciones; por un lado tenemos los puntos de México cercanos al origen del eje de coordenadas y por otro lado tenemos los puntos de Estados Unidos con valores muy lejanos y superiores al anterior.

Este comportamiento del diagrama de dispersión sugiere que es posible que, la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) no tiene gran compatibilidad para ambos países simultáneamente debido a su gran diferencia. Para comprobar este primer resultado, y antes de entrar en un análisis más exhaustivo de modelo de la CKA, se cree necesario esperar y observar cuales son los resultados de un análisis de datos de panel a nivel global que se realizará posteriormente.

4.2 Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del Método de Datos de Panel

Tomando de referencia los gráficos obtenidos de las regresiones no paramétricas anteriores, entre las Emisiones de SO₂ y el Producto Interno Bruto Real Per Cápita (PIBrp) para Estados Unidos de América (EUA) y México (MEX) entre el periodo 1960 – 2005, se puede sugerir una expresión matemática para la forma de la curva de regresión, tradicionalmente usada en la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), que representa un modelo polinómico de segundo orden:

$$SO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + u_{it}$$

Donde

- $SO2_{it}$: Emisiones de SO_2 (Gigagramos) del país “i” en el período “t”.
- $PIBrp_{it}$: Producto Interno Bruto Real Per Cápita (US\$) del país “i” en el período “t”.
- β_j : Coeficientes de regresión parcial ($j = 0,1,2$).
- u_{it} : Perturbación estocástica del país “i” en el período “t”.

Controlando los efectos individuales de las heterocedasticidades no observables en el modelo de regresión con datos de panel tenemos el **Modelo de Efectos Fijos (FE Fixed Effects)**, el cual supone que los efectos son independientes entre sí y las variables explicativas afectan por igual a las unidades de corte transversal (país), quienes se diferencian por las características propias de cada una de ellas, medidas por medio del intercepto. Este modelo se estima por medio de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

$$SO2_{it} = (\beta_0 + v_i) + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + u_{it}$$

$$SO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + (v_i + u_{it})$$

El **Modelo de Efectos Aleatorios (RE Random Effects)** considera que los efectos individuales de las heterocedasticidades no observables en el modelo de regresión con datos de panel están distribuidos de forma aleatoria alrededor de un valor dado, por lo que no son independientes entre sí. Este Modelo de Efectos Aleatorios tiene la misma especificación del modelo anterior, pero con la diferencia que v_i es aleatoria y no constante con $E(v_i) = 0$ y $Var(v_i) = \sigma_v^2$, por ende, ya no es fija para cada individuo (país) y constante a lo largo del tiempo. Este modelo se estima por medio de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG).

$$SO2_{it} = (\beta_0 + v_{it}) + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + u_{it}$$

$$SO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + (v_{it} + u_{it})$$

Es importante mencionar que, cuando se cuenta con apenas 2 cortes transversales (2 países) no es posible estimar el Modelo de Efectos Aleatorios ya que $v_{it} = 0$ para todas las observaciones. Por lo tanto, estamos frente a un **Modelo Agrupado (Pooled)** que se muestra a continuación:

$$SO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBrp_{it} + \beta_2 PIBrp_{it}^2 + u_{it}$$

En consecuencia. En nuestro caso tenemos que escoger entre el Modelo de Efectos Fijos (FE) o el Agrupado (Pooled), dependiendo de cuál de los dos modelos se ajusta mejor a los datos y ofrece mejores estimaciones.

Para determinar esto no se puede usar los contrastes habituales de correcta especificación de Hausman o de Breusch-Pagan porque las pruebas antes mencionadas serían inválidas al no poder estimar el Modelo de Efectos Aleatorios (RE). Por lo tanto, se escogerá como mejor modelo el que presente una mejor Bondad de Ajuste (R^2).

Una vez estimado el modelo regresión para la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), se procede a la determinación de los extremos locales, el cual se lo denomina como PIB Real Per Cápita óptimo o turning point (PIB_{rp}^{op}). Para esto se deriva la ecuación polinómica y luego se le iguala a cero de la siguiente manera:

$$\frac{\partial SO2_{it}}{\partial PIBrp_{it}} = 0$$

$$\frac{\partial SO2_{it}}{\partial PIBrp_{it}} = \beta_1 + 2\beta_2 PIBrp_{it} = 0$$

Despejando tenemos al valor óptimo:

$$PIBrp^{op} = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen de la estimación del modelo de regresión con datos de panel y pruebas aplicadas para la Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

4.2.1 Análisis de la Estimación del Modelo con Datos Panel de la CKA (1960 – 2005)

	Efectos Fijos	Agrupado
Variable	Coefficiente	Coefficiente
Intercepto	8200.472***	-13029.47***
PIBrp	0.7569448***	2.68298***
PIBrp ²	-0.0000189***	-0.0000465***
R ² (within)	0.7965	0.5049
R ² (between)	1	1
R ² (overall)	0.0478	0.9230
PIBrp ^{op}	20024.99	28849.25

*** Significativo individualmente al 1%.

Como $\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$ la forma de la CKA es una U invertida.

PIBrp^{op} es el valor óptimo de la CKA.

Tabla 2

Fuente: Elaboración propia

Según la evidencia estadística, el modelo que debemos utilizar para estimar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) es el Modelo Agrupado (Pooled) porque tiene mejor bondad de ajuste en general. Se puede observar que en el Modelo de Efectos Fijos

(FE) el ajuste dentro de cada país (within) es bueno con 0.7965, pero en el ajuste general (overall) es casi nulo. Tratar de controlar los efectos individuales de cada país no beneficia la estimación de la CKA debido a las diferencias notables entre los Estados Unidos y México. Por lo cual, se impone no controlar los efectos individuales y considerar el comportamiento agrupado de los países donde el ajuste de cada país (within) es regular con 0.5049, pero en el ajuste general (overall) es excelente con 0.9230.

$$SO2_{it} = -13029.47 + 2.68298PIBrp_{it} - 0.0000465PIBrp_{it}^2 + \hat{u}_{it}$$

Todos los coeficientes de regresión son significativos al 1%, ya que determina que la CKA tiene forma polinómica de grado dos con forma de U invertida debido a los signos de los coeficientes estimados ($\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$). El PIBrp óptimo de ambos países se logra en 28849.25 US\$.

Según los resultados, la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) de Estados Unidos de América (EUA) y México (MEX) de forma simultánea o global, se logra siempre y cuando se consideren a los países como un grupo (Pooled) en la estimación del modelo. Al tratar de considerar a los países con efectos individuales fijos (FE) en la estimación del modelo, la diferencia es notable entre ambos países ya que no permite lograr obtener una buena bondad de ajuste. La estimación con efectos individuales aleatorios (RE) no es posible porque apenas se cuenta con 2 países, por lo que, estadísticamente, los resultados son coherentes, pero económicamente los países se comportan diferentes por lo que se puede concluir que no existe una Curva de Kuznets Regional ya que se deben rechazar ambos modelos.

4.3 Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de cointegración de las series de tiempo

A través de este método se determinará si en el largo plazo las variables Emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) y el Producto Interno Bruto Real Per Cápita (PIBrp) tienen una relación de equilibrio o cointegración a través de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por cada país. El objetivo de este método de estimación es determinar si puede existir una Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por países teniendo en cuenta solo sus variables internas.

Una vez especificadas las ecuaciones de regresión del modelo de la CKA, antes de hacer el análisis MCO en series de tiempo (análisis por país), el siguiente paso sería verificar si las variables que integren dichas ecuaciones son integradas de orden uno (estacionarias en primera diferencia) y, adicionalmente, que las perturbaciones del modelo de regresión sean ruido blanco (estacionarias en nivel) para que exista cointegración entre las variables, a fin de evitar el problema de regresiones espurias que muestren una relación irreal o falsa entre las Emisiones de SO₂ como variable dependiente y el PIBrp como variable regresora.

Para establecer si las variables son estacionarias deben presentar una media y varianza constantes en el tiempo, mientras que la autocovarianza (en los diferentes rezagos) sólo dependerá de la cantidad de rezagos que las separan. Para determinar la estacionariedad de las series de tiempo, se utilizará la Prueba de Raíz Unitaria de Dickey-Fuller Aumentado (DFA).

4.3.1 Análisis de Estacionariedad de las Variables de la CKA (1960 – 2005)

En Nivel	SO2		PIBrp		PIBrp ²	
	DFA	DW	DFA	DW	DFA	DW
MEX	-1.5429	2.0388	-1.5029	1.9520	-0.9635	1.9972
EUA	0.0612	1.9572	1.0572	2.0807	3.0290	2.0664
En Diferencia	ΔSO2		ΔPIBrp		ΔPIBrp ²	
	DFA	DW	DFA	DW	DFA	DW
MEX	-6.5237***	1.9890	-5.2770***	1.9467	-5.4418***	1.9415
EUA	-5.0444***	1.9580	-4.6948***	2.0432	-3.4708**	1.9858

*** Se rechaza la H₀: Presencia de raíz unitaria (serie no estacionaria) al 1%. Según MacKinnon.

** Se rechaza la H₀: Presencia de raíz unitaria (serie no estacionaria) al 5%. Según MacKinnon.

No se rechaza la H₀: No autocorrelación en las perturbaciones ($\rho = 0$) de la prueba DFA al 5% ($1.566 < DW < 2.434$).

Tabla 3

Como se ha determinado por la Prueba de Raíz Unitaria de Dickey-Fuller Aumentado (DFA) todas las series de tiempo que forman parte de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) son integradas de orden uno, es decir, son estacionarias en primera diferencia.

Ahora se deberá estimar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), a través de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y luego verificar si las perturbaciones son ruido blanco (estacionarias en nivel).

4.3.2 Análisis de la Estimación del Modelo por País de la CKA por MCO

(1960 – 2005)

	MEX	EUA
Variable	Coefficiente	Coefficiente
Intercepto	-2165.436**	17893.67***
PIBrp	0.7983899**	0.8017817***
PIBrp ²	-0.0000252	-0.0000196***
R ²	0.8355	0.7958
PIBrp ^{op}	No existe	20453.61
DFA (residual)	-1.0653	-2.2542 ⁽¹⁾
RESET-Ramsey	7.46 ⁽²⁾	26.56 ⁽²⁾
DW	0.1974 ⁽³⁾	0.2267 ⁽³⁾

*** Significativo individualmente al 1%.

** Significativo individualmente al 5%.

PIBrp^{op} es el valor óptimo de la CKA.

⁽¹⁾ Se rechaza la H₀: Presencia de raíz unitaria (serie no estacionaria) al 5%. Según MacKinnon.

⁽²⁾ Se rechaza la H₀: Correcta especificación del modelo al 5%.

⁽³⁾ Se rechaza la H₀: No autocorrelación en las perturbaciones ($\rho = 0$) de la prueba DFA al 5% (DW < 1.245).

Tabla 4

La estimación mostrada indica, que en el modelo de la CKA para MEX no existe cointegración entre las variables, porque los residuos no son ruido blanco (no estacionarios) según la prueba de raíz unitaria DFA, por lo tanto, la regresión es espuria. Adicionalmente, el coeficiente de regresión del término cuadrático no es significativo provocando que no tenga un PIBrpop porque su comportamiento es lineal y no de U invertida.

Para la estimación del modelo CKA para EUA si existe cointegración entre las variables porque los residuos son ruido blanco (estacionarios) según la prueba de raíz

unitaria DFA. Todos los coeficientes son significativos y con el signo esperado, por lo tanto, la CKA tiene forma de U invertida con un PIBrp óptimo de 20453.61 US\$.

En ambos modelos de regresión se puede observar que, según la prueba RESET-Ramsey hay una incorrecta especificación del modelo y según la prueba Durbin-Watson hay presencia de autocorrelación positiva en las perturbaciones ($\rho > 0$). Esto se debe a la omisión de variables relevantes en el modelo, esto quiere decir que, la CKA cuando se estima por países tomando en cuenta solo las variables internas deben incluirse variables de control que permitan mejorar su estimación.

4.4 Análisis econométrico de la relación entre emisiones de Dióxido de Azufre y Crecimiento Económico a través del método de Regresiones Simultáneas Aparentemente no Relacionadas

Se considera el sistema de regresiones simultáneas en el cual cada país tiene su respectivo modelo que sigue la Curva de Kuznets Ambiental (CKA):

$$\begin{cases} SO2_{1,t} = \beta_{10} + \beta_{11}PIBrp_{1,t} + \beta_{12}PIBrp_{1,t}^2 + u_{1,t} \\ SO2_{2,t} = \beta_{20} + \beta_{21}PIBrp_{2,t} + \beta_{22}PIBrp_{2,t}^2 + u_{2,t} \end{cases}$$

Al no tener en el modelo de regresiones simultáneas variables endógenas explicativas, la estimación para cada una de las ecuaciones de México (MEX) y Estados Unidos de América (EUA) puede llevarse a cabo por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), porque el sistema está en su forma reducida. Sin embargo, eso sería lo más adecuado si los modelos fueran completamente independientes en el sentido de que la variabilidad de alguna de las variables endógenas de un modelo de un país no afecta el comportamiento de algún otro modelo de otro país. Obviamente, siendo países con frontera común y globalizadas con un intercambio vigoroso entre sus economías este

supuesto es difícil de cumplir. No necesariamente separar los datos por fronteras es lo más adecuado; pues en la naturaleza, más que límites trazados por el hombre hay ecosistemas que delimitan territorios, los cuales pueden estar dentro de dos o más países

Por lo que, los modelos de la CKA para cada país que aparentemente no están correlacionadas, pueden sí estarlo por medio de correlaciones contemporáneas implícitas, entre los términos de error de las ecuaciones del sistema.

Esta imprecisión en el sistema exige que los análisis de las relaciones económicas-ambientales de un país deban considerar también la influencia que puedan tener las demás relaciones de otros países de una región específica. En este caso, se define a México (MEX) y Estados Unidos de América (EUA) como una sola región compuesta por diferentes países, que dentro de su heterogeneidad o diversidad convergen en grandes similitudes. Frente a esto, tomando en cuenta que la CKA para las Emisiones del SO₂ se la debe procesar para cada país.

Las ecuaciones se las coloca de forma matricial y se realiza las operaciones respectivas para el cálculo de los coeficientes del modelo:

$$\begin{pmatrix} SO2_{1,t} \\ SO2_{2,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & PIBrp_{1,t} & PIBrp_{1,t}^2 \\ 1 & PIBrp_{2,t} & PIBrp_{2,t}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_{10} \\ \beta_{11} \\ \beta_{12} \\ \beta_{20} \\ \beta_{21} \\ \beta_{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1,t} \\ u_{2,t} \end{pmatrix}$$

Definiendo la matriz de varianza-covarianza de las perturbaciones:

$$\Phi = E(uu') = \begin{bmatrix} \sigma_{11}I_2 & \sigma_{12}I_2 & \cdots & \sigma_{1n}I_2 \\ \sigma_{21}I_2 & \sigma_{22}I_2 & \cdots & \sigma_{2n}I_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1}I_2 & \sigma_{n2}I_2 & \cdots & \sigma_{nn}I_2 \end{bmatrix} = \Sigma \times I_2$$

Donde el número de observaciones en cada ecuación (país) es de 46 ($n = 46$).

Finalmente, la estimación del sistema de ecuaciones simultáneas aparentemente no relacionadas con información completa (SUR) se obtiene a partir de la siguiente fórmula matricial:

$$\hat{\beta} = (PIBrp'\Phi^{-1}PIBrp)^{-1}PIBrp'\Phi^{-1}SO2$$

$$\hat{\beta} = [PIBrp'(\Sigma^{-1} \times I_2)PIBrp]^{-1}PIBrp'(\Sigma^{-1} \times I_2)SO2$$

Los resultados obtenidos del análisis SUR para Las Emisiones de SO₂ son los siguientes:

4.4.1 Análisis de la Estimación del Sistema de Ecuaciones de la CKA por SUR

(1960 – 2005).

	MEX	EUA
Variable	Coefficiente	Coefficiente
Intercepto	-2939.347***	16061.35***
PIBrp	1.081977***	0.8978987***
PIBrp ²	-0.0000492**	-0.0000207***
R ²	0.8332	0.7636
PIBrp ^{op}	10995.70	21688.37

*** Significativo individualmente al 1%.

** Significativo individualmente al 5%.

Como $\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$ la forma de la CKA es una U invertida.

PIBrp^{op} es el valor óptimo de la CKA.

Tabla 5

Al construir los respectivos modelos de la CKA mediante el método SUR, los coeficientes de regresión para ambos países resultaron significativos individualmente a diferencia de la estimación MCO, donde México tiene el coeficiente del término cuadrático ($PIBrp_t^2$) no significativo individualmente.

Sin embargo, las regresiones aparentemente no relacionadas demandan comprobar si es eficiente la estimación mediante este método. Para este caso, se estima la correlación entre las perturbaciones de los modelos de la CKA de los diferentes países mediante la Prueba de Independencia de Breusch-Pagan.

En la siguiente tabla se presentan los dos tipos de métodos, omitiendo aquellas regresiones que se estimaron por MCO debido a que son espurias y las variables no están cointegradas (relación de equilibrio a largo plazo).

4.4.2 Análisis Comparativo de las Estimaciones de la CKA por MCO y SUR (1960 – 2005)

		MCO	SUR
MEX	Variable	Coefficiente	Coefficiente
	Intercepto	NC	-2939.347***
	PIBrp	NC	1.081977***
	PIBrp ²	NC	-0.0000492**
	R ²	NC	0.8332
	PIBrp ^{op}	NC	10995.70
UEA	Variable	Coefficiente	Coefficiente
	Intercepto	17893.67***	16061.35***
	PIBrp	0.8017817***	0.8978987***
	PIBrp ²	-0.0000196***	-0.0000207***
	R ²	0.7958	0.7636
	PIBrp ^{op}	20453.61	21688.37
	Breusch-Pagan	-	10.514***

NC: Las variables no están cointegradas, por lo cual es una regresión espuria.

*** Significativo individualmente al 1%.

** Significativo individualmente al 5%.

Como $\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$ la forma de la CKA es una U invertida.

PIBrp^{op} es el valor óptimo de la CKA.

Tabla 6

La Prueba de Independencia en las perturbaciones Breusch-Pagan aplicada a la estimación SUR señala que el modelo de CKA es significativo al 1%, lo cual significa que las perturbaciones de las diferentes ecuaciones no son independientes. Esto quiere decir que para las Emisiones de SO_2 , los modelos de cada país están relacionados entre sí por lo que no sería eficiente estimar regresiones separadas utilizando MCO.

En este contexto, tomando en cuenta los resultados anteriores, en donde se recomienda la estimación simultánea para representar los modelos más eficientes y dar respuesta a la hipótesis planteada del estudio, los resultados se centrarán en el método SUR. Por tanto, el análisis SUR señala la existencia de una influencia del crecimiento económico sobre la degradación ambiental.

Conclusiones

La principal conclusión de este trabajo es que es posible encontrar una Curva de Kuznets Ambiental que refleje la relación existente entre la economía y el medio ambiente. En el análisis exploratorio se observó que el crecimiento de Estados Unidos es muy superior al de México y que su tendencia es a seguir aumentando esta diferencia. La razón de las Emisiones de SO_2 entre el PIB real per cápita muestra como en EUA, el costo medioambiental debido al crecimiento económico es cada vez menor, mientras que en México apenas está empezando a disminuir.

En los modelos econométricos utilizados se pudo observar que a través del método Regresión Localmente Ponderada, para cada país, individualmente, muestra que para ambos países la forma de la CKA es de una U invertida, pero que llegan a su valor óptimo en tiempos distintos. En EUA desde hace varios años (aproximadamente 1969) la relación crecimiento costo ambiental llega a su máximo y comienza a disminuir, pero para MEX hace pocos años (aproximadamente 1999), la relación crecimiento costo ambiental llega a su máximo y comienza a descender. La Regresión Localmente Ponderada para ambos países, simultáneamente, puede ser no compatible por la gran diferencia entre los países, pero igualmente, se puede observar que la forma de la CKA es una U invertida.

Según la evidencia estadística, el modelo que debemos utilizar para estimar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) es el Modelo Agrupado (Pooled) debido a que posee una mejor bondad de ajuste en general para EUA. En cambio, si se desea controlar los efectos individuales de cada país no beneficia la estimación de la CKA debido a las diferencias notables entre EUA y MEX. Por lo cual, se impone no controlar los efectos individuales y considerar el comportamiento agrupado de los países. Según

los resultados, la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) de Estados Unidos de América (EUA) y México (MEX) de forma simultánea o global se logra siempre y cuando se consideren a los países como un grupo (Pooled) en la estimación del modelo, pero esto no es posible debido a que el Modelo Agrupado considera que ambos países deben tener un comportamiento homogéneo, lo cual no se cumple en la realidad, por lo que este modelo no es el indicado para obtener una CKA regional. Mientras que el modelo de efectos fijos, se puede observar que la bondad de ajuste R^2 overall arroja un valor insignificante por lo que la variable independiente explica a la variable dependiente en un 4% y el resto es explicado por la perturbación. En este modelo se puede observar que los coeficientes son coherentes con lo esperado, pero la bondad de ajuste indica que el modelo de regresión no es el indicado considerándose como una región, por lo que no existe una CKA regional para EEUU y MEX.

La estimación de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) por MCO considerando únicamente las variables internas de cada país mostró que para MEX no es posible debido a que no existe equilibrio a largo plazo entre las variables (no hay cointegración). Pero para EUA se pudo estimar un modelo de regresión con los coeficientes significativos individualmente, buena bondad de ajuste, pero con forma funcional incorrecta por omisión de variables relevantes. Estos resultados permiten concluir que, la estimación por MCO considerando las variables internas de los países en estudio no es adecuada para la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) debido a que México muestra que su crecimiento económico está interrelacionado con la economía de EUA, mientras que para EUA sí es posible.

En definitiva, el modelo de cointegración es una técnica que se ajusta a lo especificado en el modelo de la Curva de Kuznets Ambiental, principalmente, por su aspecto teórico (la influencia de un país en otro y la presencia de heterogeneidad). Debido a esto, sería erróneo proponer una sola CKA regional en el presente estudio de investigación o proponer una CKA para cada país sin tener en cuenta la dinámica económica ambiental entre los países así como su interrelación.

Estimar la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) a través del método de ecuaciones simultáneas (SUR) resultó ser el mejor método utilizado, dado que toma en cuenta las variables internas de los países y los efectos de la relación ingreso-contaminante provocados por el otro país. En este caso, para ambos países se obtuvieron modelos de regresión cuyos coeficientes de regresión son significativos individualmente, buena bondad de ajuste y la curva tiene forma de U invertida.

La validez o no de la curva, no solo dependerá de los aspectos vistos anteriormente; también, dependerá del nivel al que se quiere llegar y a su interpretación. En este contexto, se debe hacer hincapié en que tanto México como Estados Unidos poseen una distinta realidad económica y progreso natural de desarrollo, el cual necesariamente estará anclado a varios factores internos como si su economía es agraria, industrial o de servicios; el nivel de su tecnología, normas ambientales claras y políticas de corrección de fallos de mercado delimitadas; así como el nivel de conciencia ambiental en su población, canasta de consumo etc.

Se puede concluir una vez evaluado este trabajo de investigación que, puede existir una relación entre la disminución de las emisiones de dióxido de azufre con la implementación de las leyes ambientales para el mejoramiento del ambiente en cada país.

En conclusión, esta investigación y algunos de los métodos utilizados arrojaron en cierta forma la validez de la CKA, concluyendo que el crecimiento si bien en un inicio va acompañado con la contaminación ambiental, éste al alcanzar un cierto nivel óptimo de ingreso, conducirá a generar una mejora en la calidad ambiental. Por lo que la hipótesis planteada previamente es aceptada. Pero se debe tener presente que se debe

seguir estudiando la relación ingreso–contaminante desprendiéndose estrictamente de la forma funcional planteada inicialmente, pues, cada país tendrá su dinámica particular que le hace presentar una gráfica distinta u similar para casos futuros con distintos países.

Referencias Bibliográficas

1. Acuña, Edgar (2008). *Análisis de Regresión*. Mayaguez: Universidad de Puerto Rico. Reciento Universitario de Mayaguez.
2. Argüelles, Clara Luz Reynaldo. Revista Desarrollo Local Sostenible Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global, Vol 5. No 13 [Fecha de consulta en Agosto del 2016]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/13/clra.pdf>
3. ARROW, K., BOLIN, B., CONSTANZA, R., DASGUPTA, P., FOLKE, C., HOLLING, C. S., JANSSON, B. O., LEVIN, S., MÄLER, K. G., PERRINGS, C. y PIMENTEL, D., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, Vol 15 (2), 91-95.
4. Azqueta, Diego (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid: MC GRAW HILL / Interamericana de España.
5. Baltagi, B. (1980): On Seemingly Unrelated Regressions with Error Components, *Econometrica*, 48, 1547-1552.
6. Baltagi, B.H., 1999, Specification test in panel data models using artificial regressions, *Annales d'Economie et de Statistique* 55-56, 227-297

7. Bergara, Mario y Andres, Masoler (2002). *Un análisis del mercado domestico de bonos*. Montevideo: Revista de Economía. Segunda Época. Vol. IX. N° 1. Banco Central de Uruguay.
8. Blanco, Enrique (2006). *Influencia de la legislación en la información medioambiental suministrada por las empresas*. Un estudio regional. Tesis doctoral. Universidad Rey Juan Carlos. Disponible en <http://www.eumed.net/tesis/2006/erbr/> , visitado en Agosto de 2016.
9. CANCELO, M. Teresa y DIAZ-VÁZQUEZ, M. Rosario (2009). *Emisiones de Co2 y Azufre y crecimiento económico: ¿Una curva de kuznets ambiental?* Vol.9-2
10. Cuevas, Daris (2006). *La curva de Kuznets Ambiental (CKA)*. disponible en <https://dfedericos.files.wordpress.com/2012/02/planteamiento-kuznets-corregido.pdf> visitado en Agosto de 2016.
11. Cleveland, William S (1978). *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*. *Journal of the American Statistical Association*. Vol 74. <http://amstat.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1979.10481038>
12. DASGUPTA, S., LAPLANTE, B., MAMINGI, N., 2001. Pollution and capital market in developing countries. *Journal of Environmental Economics and Management* 42, 310-335.
13. Environmental Protection Agency. Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide; Final Rule. 2010. Vol: 75. No: 119

14. García, Leonardo Calvo (2013). *Medición de la relación entre crecimiento económico y emisiones Co2 y PM10 en Colombia: Una estimación de la curva de Kuznets ambiental*. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12101> visitado en Agosto de 2016.
15. Gitli, Eduardo y Greivin Hernandez (2002). *La existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales*. Disponible en <http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/367.pdf>
16. Granger, C. Newbold, P. (1974): "Spurious regressions in econometrics". *Journal of econometrics* # 2. Págs 111-120.
17. Granger, C. Newbold. P.(1977): "Identification of two-way causal models," *Frontiers of Quantitative Economics*, Vol III. pp. 337-360
18. GROSSMAN, G. y KRUEGER, A., 1991. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER, Working Paper N° 3914.
19. GROSSMAN, G., KRUEGER, A., 1995. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics* 110 (2), 353-377.
20. Gujarati, Damodar (2002). *Econometria*. Bogotá: MC GRAW HILL. Tercera edición.
21. Norma Oficial Mexicana. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del

- aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. NOM-022-SSA1-1993
22. Norma Oficial Mexicana. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. NOM-022-SSA1-2010.
23. MAGNANI, E., 2000. The Environmental Kuznets Curve, environmental policy and income distribution. *Ecological Economics* 32, pp. 431–443.
24. Martínez, Joan y Jordi Roca (2001). *Economía ecológica y política ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
25. Marín, Wilmer y Darío Ladino (2003). Libre Comercio y Medio Ambiente. Disponible en http://www.webpondo.org/files_oct_dic_03/LibreComercioMedioAmbiente.pdf, visitado en Agosto de 2016.
26. Montero, Roberto (2007). *Efectos fijos o variables: test de especificación*. Granada: Universidad de Granada.
27. Montero. R (2013): Variables no estacionarias y cointegración. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España

28. Moon, H.R. and P. Perron (2004): Efficient Estimation of SUR Cointegration Regression Model and Testing for Purchasing Power Parity, *Econometric Reviews*, 23, 293-323.
29. Moncayo, Gabriel Suarez (2011). *Crecimiento económico vs degradación ambiental: ¿ existe una curva de kuznets ambiental en America Latina y el Caribe? Periodo 1970-2008*. Abril de 2011. Disponible en: <http://www.flacsoandes.edu.ec>
30. Panayotou, T. (1993). *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*. Ginebra: International Labor Office. Technology and Employment Programme Working Paper.
31. PANAYOTOU, T., 1997. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics* 2, 465-484.
32. PANAYOTOU, T., 2003. Economic growth and the environment. *Economic Survey of Europe*, 2003 n° 2, pp. 45-72.
33. Panayotou, Theodoro, Alix Peterson y Jeffrey Sachs (2000). *Is the Environmental Kuznets Curve Driven by Structural Change? What Extend Time*

Series May Imply for Developing Countries. Disponible en <http://www.earth.columbia.edu/sitefiles/file/about/director/pubs/paper80.pdf>, visitado en el 2016

34. Park, J. and M. Ogaki (1991): Seemingly Unrelated Canonical Cointegrating Regressions, University of Rochester working paper 280.
35. Pearce, David y Kerry Turner (1990). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Madrid: Celeste Ediciones.
36. Posada, Luís y Elkin Pimiento (1997). *Desarrollo económico sostenible, relaciones económicas internacionales y recursos minero-energeticos en Colombia*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Disponible en <http://www.sernanp.gob.pe/documents/10181/88081/Desarrollo+sostenible+economico.pdf/0e06a277-88f6-4596-9273-1ad4aac8f2d1> visitado en Agosto del 2016
37. Roca, Jordi y Emilio Padilla (2001-2003). Emisiones atmosféricas y crecimiento en España: la Curva de Kuznets Ambiental y el Protocolo de Kyoto. *Economía industrial*, N° 351. Disponible en <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia05.pdf>, visitado en Agosto de 2016.
38. ROCA, J., 2003. Do individual preferences explain Environmental Kuznets Curve? *Ecological Economics* 45 (1), 3-10.

39. Servy, Elsa, Cristina Cuesta, Gonzalo Marí y María Luz Armida (2006). Utilización del Paquete “Kernsmooth” de R para Construir Suavizados LOESS y Bandas de Variabilidad a Datos de la Encuesta de Ocupación Hotelera. Rosario: Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas en Estadística, Escuela de Estadística. Universidad Nacional de Rosario.
40. Srivastava, V. K. and D. E. A. Giles (1987): *Seemingly Unrelated Regression Equations Models*, New York: Marcel Dekker Inc.
41. Burdisso, Tamara. 1997. Estimación de una Función de Costos para los Bancos Privados Argentinos Utilizando Datos de Panel. Banco Central de la República Argentina, Documentos de Trabajo N° 3.
42. Van Hauwermeirn, Saar (1999). *Manual de Economía Ecológica*. Quito: Editorial Abya-ayala.
43. Zellner A. (1963): Estimators for Seemingly Unrelated Regression Equations: Some Finite Sample Results, *Journal of the American Statistical Association*, 58, 977-992
44. ZILIO, M., 2007. Determinantes de las emisiones de dióxido de carbono en América Latina. *Anales de la XLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*, Bahía Blanca.

45. Zilio, Mariana (2010). *La curva de kuznets ambiental: evidencia para America Latina y el Caribe.*

5.2 Modelo de Efectos Aleatorios

```

Random-effects GLS regression           Number of obs   =       92
Group variable: Pais                   Number of groups =        2

R-sq:                                   Obs per group:
    within = 0.5049                      min =          46
    between = 1.0000                      avg =         46.0
    overall = 0.9230                      max =          46

corr(u_i, X) = 0 (assumed)               Wald chi2(2)    =    1066.27
                                           Prob > chi2     =      0.0000

```

SO2	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
PIBp	2.68298	.099681	26.92	0.000	2.487609	2.878351
PIBp2	-.0000465	2.11e-06	-22.03	0.000	-.0000507	-.0000424
_cons	-13029.47	855.3176	-15.23	0.000	-14705.86	-11353.07
sigma_u	0					
sigma_e	1670.0502					
rho	0	(fraction of variance due to u_i)				

5.3 Análisis de Estacionariedad.

SO2 de México

Null Hypothesis: SO2_MEX has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.542925	0.5030
Test critical values: 1% level	-3.584743	
5% level	-2.928142	
10% level	-2.602225	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(SO2_MEX)

Method: Least Squares

Date: 10/12/16 Time: 23:55

Sample (adjusted): 1961 2005

Included observations: 45 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SO2_MEX(-1)	-0.039663	0.025706	-1.542925	0.1302
C	107.8925	54.06690	1.995538	0.0523
R-squared	0.052459	Mean dependent var		30.64077
Adjusted R-squared	0.030423	S.D. dependent var		139.0155
S.E. of regression	136.8845	Akaike info criterion		12.71958
Sum squared resid	805706.6	Schwarz criterion		12.79987
Log likelihood	-284.1905	Hannan-Quinn criter.		12.74951
F-statistic	2.380617	Durbin-Watson stat		2.038821
Prob(F-statistic)	0.130177			

5.4 So2 de Estados Unidos

Null Hypothesis: SO2_EUA has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.061168	0.9590
Test critical values:		
1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(SO2_EUA)
 Method: Least Squares
 Date: 10/12/16 Time: 23:54
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SO2_EUA(-1)	0.001991	0.032554	0.061168	0.9515
D(SO2_EUA(-1))	0.249787	0.156702	1.594025	0.1186
C	-204.7933	753.4886	-0.271793	0.7871
R-squared	0.064789	Mean dependent var		-208.0299
Adjusted R-squared	0.019169	S.D. dependent var		1040.144
S.E. of regression	1030.127	Akaike info criterion		16.77850
Sum squared resid	43507627	Schwarz criterion		16.90015
Log likelihood	-366.1270	Hannan-Quinn criter.		16.82361
F-statistic	1.420184	Durbin-Watson stat		1.957217
Prob(F-statistic)	0.253307			

5.5 PIB real per cápita de México

Null Hypothesis: PIBRP_MEX has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.502855	0.5229
Test critical values:		
1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP_MEX)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:00
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PIBRP_MEX(-1)	-0.035832	0.023843	-1.502855	0.1405
D(PIBRP_MEX(-1))	0.186748	0.149218	1.251512	0.2178
C	329.0365	163.3142	2.014745	0.0505
R-squared	0.091276	Mean dependent var		112.6212
Adjusted R-squared	0.046948	S.D. dependent var		227.8418
S.E. of regression	222.4291	Akaike info criterion		13.71284
Sum squared resid	2028464.	Schwarz criterion		13.83449
Log likelihood	-298.6825	Hannan-Quinn criter.		13.75795
F-statistic	2.059107	Durbin-Watson stat		1.952047
Prob(F-statistic)	0.140558			

5.6 PIB real per cápita de Estados Unidos

Null Hypothesis: PIBRP_EUA has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 2 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	1.057241	0.9965
Test critical values:		
1% level	-3.592462	
5% level	-2.931404	
10% level	-2.603944	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP_EUA)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:05
 Sample (adjusted): 1963 2005
 Included observations: 43 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PIBRP_EUA(-1)	0.010930	0.010339	1.057241	0.2969
D(PIBRP_EUA(-1))	0.274695	0.156828	1.751574	0.0877
D(PIBRP_EUA(-2))	-0.231732	0.157248	-1.473673	0.1486
C	334.7375	331.1815	1.010737	0.3184
R-squared	0.127284	Mean dependent var		717.3334
Adjusted R-squared	0.060152	S.D. dependent var		569.6535
S.E. of regression	552.2547	Akaike info criterion		15.55430
Sum squared resid	11894426	Schwarz criterion		15.71814
Log likelihood	-330.4175	Hannan-Quinn criter.		15.61472
F-statistic	1.896033	Durbin-Watson stat		2.080701
Prob(F-statistic)	0.146230			

5.7 PIB real per cápita² de México

Null Hypothesis: PIBRP2_MEX has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 2 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.963519	0.7577
Test critical values:		
1% level	-3.592462	
5% level	-2.931404	
10% level	-2.603944	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP2_MEX)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:08
 Sample (adjusted): 1963 2005
 Included observations: 43 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PIBRP2_MEX(-1)	-0.028497	0.029576	-0.963519	0.3412
D(PIBRP2_MEX(-1))	0.205785	0.155865	1.320281	0.1944
D(PIBRP2_MEX(-2))	-0.167852	0.157188	-1.067843	0.2922
C	2685024.	1474909.	1.820468	0.0764
R-squared	0.080592	Mean dependent var		1426114.
Adjusted R-squared	0.009869	S.D. dependent var		3352149.
S.E. of regression	3335568.	Akaike info criterion		32.96659
Sum squared resid	4.34E+14	Schwarz criterion		33.13042
Log likelihood	-704.7817	Hannan-Quinn criter.		33.02701
F-statistic	1.139538	Durbin-Watson stat		1.997214
Prob(F-statistic)	0.345107			

5.8 PIB real per cápita 2 de Estados Unidos

Null Hypothesis: PIBRP2_EUA has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 3 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	3.028985	1.0000
Test critical values: 1% level	-3.596616	
5% level	-2.933158	
10% level	-2.604867	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP2_EUA)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:16
 Sample (adjusted): 1964 2005
 Included observations: 42 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PIBRP2_EUA(-1)	0.041113	0.013573	3.028985	0.0045
D(PIBRP2_EUA(-1))	0.267297	0.165551	1.614590	0.1149
D(PIBRP2_EUA(-2))	-0.194619	0.169272	-1.149740	0.2576
D(PIBRP2_EUA(-3))	-0.244265	0.167368	-1.459443	0.1529
C	10236968	12337720	0.829729	0.4120
R-squared	0.364825	Mean dependent var		48509583
Adjusted R-squared	0.296157	S.D. dependent var		42514546
S.E. of regression	35667723	Akaike info criterion		37.72873
Sum squared resid	4.71E+16	Schwarz criterion		37.93560
Log likelihood	-787.3034	Hannan-Quinn criter.		37.80456
F-statistic	5.312910	Durbin-Watson stat		2.066426
Prob(F-statistic)	0.001749			

5.9 ΔSO2 de México

Null Hypothesis: D(SO2_MEX) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.523692	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(SO2_MEX,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:15
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SO2_MEX(-1))	-1.009153	0.154690	-6.523692	0.0000
C	31.77880	22.00807	1.443961	0.1562
R-squared	0.503303	Mean dependent var		-0.857223
Adjusted R-squared	0.491477	S.D. dependent var		199.3574
S.E. of regression	142.1634	Akaike info criterion		12.79622
Sum squared resid	848838.4	Schwarz criterion		12.87732
Log likelihood	-279.5169	Hannan-Quinn criter.		12.82630
F-statistic	42.55856	Durbin-Watson stat		1.989049
Prob(F-statistic)	0.000000			

5.10 Δ SO2 de Estados Unidos

Null Hypothesis: D(SO2_EUA) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.044383	0.0001
Test critical values: 1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(SO2_EUA,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:19
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(SO2_EUA(-1))	-0.747432	0.148171	-5.044383	0.0000
C	-159.7279	156.0391	-1.023640	0.3119
R-squared	0.377278	Mean dependent var		-16.78631
Adjusted R-squared	0.362451	S.D. dependent var		1274.738
S.E. of regression	1017.836	Akaike info criterion		16.73313
Sum squared resid	43511597	Schwarz criterion		16.81423
Log likelihood	-366.1290	Hannan-Quinn criter.		16.76321
F-statistic	25.44580	Durbin-Watson stat		1.958009
Prob(F-statistic)	0.000009			

5.11 Δ PIBrp de México

Null Hypothesis: D(PIBRP_MEX) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.277014	0.0001
Test critical values: 1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP_MEX,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:22
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PIBRP_MEX(-1))	-0.797046	0.151041	-5.277014	0.0000
C	90.11252	37.93053	2.375725	0.0222
R-squared	0.398685	Mean dependent var		1.715851
Adjusted R-squared	0.384368	S.D. dependent var		287.7017
S.E. of regression	225.7372	Akaike info criterion		13.72101
Sum squared resid	2140206.	Schwarz criterion		13.80211
Log likelihood	-299.8622	Hannan-Quinn criter.		13.75108
F-statistic	27.84688	Durbin-Watson stat		1.946719
Prob(F-statistic)	0.000004			

5.12 ΔPIBrp de Estados Unidos

Null Hypothesis: D(PIBRP_EUA) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.694830	0.0004
Test critical values: 1% level	-3.592462	
5% level	-2.931404	
10% level	-2.603944	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP_EUA,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:25
 Sample (adjusted): 1963 2005
 Included observations: 43 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PIBRP_EUA(-1))	-0.902601	0.192254	-4.694830	0.0000
D(PIBRP_EUA(-1),2)	0.203740	0.155231	1.312498	0.1968
C	642.6020	157.9846	4.067497	0.0002
R-squared	0.395750	Mean dependent var		8.680260
Adjusted R-squared	0.365537	S.D. dependent var		694.3441
S.E. of regression	553.0670	Akaike info criterion		15.53605
Sum squared resid	12235326	Schwarz criterion		15.65892
Log likelihood	-331.0251	Hannan-Quinn criter.		15.58136
F-statistic	13.09888	Durbin-Watson stat		2.043153
Prob(F-statistic)	0.000042			

5.13 ΔPIBRp^2 de México

Null Hypothesis: D(PIBRP2_MEX) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.441792	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.588509	
5% level	-2.929734	
10% level	-2.603064	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP2_MEX,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:28
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PIBRP2_MEX(-1))	-0.827306	0.152028	-5.441792	0.0000
C	1168254.	539430.3	2.165719	0.0361
R-squared	0.413515	Mean dependent var		44042.31
Adjusted R-squared	0.399551	S.D. dependent var		4265620.
S.E. of regression	3305370.	Akaike info criterion		32.90438
Sum squared resid	4.59E+14	Schwarz criterion		32.98548
Log likelihood	-721.8965	Hannan-Quinn criter.		32.93446
F-statistic	29.61310	Durbin-Watson stat		1.941492
Prob(F-statistic)	0.000003			

5.14 ΔPIBRp^2 de Estados Unidos

Null Hypothesis: D(PIBRP_EUA) has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.694830	0.0004
Test critical values: 1% level	-3.592462	
5% level	-2.931404	
10% level	-2.603944	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PIBRP_EUA,2)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 00:25
 Sample (adjusted): 1963 2005
 Included observations: 43 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PIBRP_EUA(-1))	-0.902601	0.192254	-4.694830	0.0000
D(PIBRP_EUA(-1),2)	0.203740	0.155231	1.312498	0.1968
C	642.6020	157.9846	4.067497	0.0002
R-squared	0.395750	Mean dependent var		8.680260
Adjusted R-squared	0.365537	S.D. dependent var		694.3441
S.E. of regression	553.0670	Akaike info criterion		15.53605
Sum squared resid	12235326	Schwarz criterion		15.65892
Log likelihood	-331.0251	Hannan-Quinn criter.		15.58136
F-statistic	13.09888	Durbin-Watson stat		2.043153
Prob(F-statistic)	0.000042			

5.15 Regresión con Series de Tiempo

5.15.1 Estimación de la CKA de México

Source	SS	df	MS			
Model	23722348.4	2	11861174.2	Number of obs	=	46
Residual	4671101.42	43	108630.266	F(2, 43)	=	109.19
Total	28393449.8	45	630965.551	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.8355
				Adj R-squared	=	0.8278
				Root MSE	=	329.59

SO2_mex	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
PIBp_mex	.7983899	.3143931	2.54	0.015	.1643557	1.432424
piBP2_mex	-.0000252	.0000251	-1.00	0.322	-.0000758	.0000255
_cons	-2165.436	941.6552	-2.30	0.026	-4064.465	-266.4076

5.15.2 Análisis de Estacionariedad de las Perturbaciones de México.

Null Hypothesis: ERROR_MEX has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.065254	0.2548
Test critical values: 1% level	-2.618579	
5% level	-1.948495	
10% level	-1.612135	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(ERROR_MEX)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 01:23
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR_MEX(-1)	-0.081277	0.076298	-1.065254	0.2928
D(ERROR_MEX(-1))	0.156474	0.160215	0.976647	0.3343
R-squared	0.011222	Mean dependent var		-23.11327
Adjusted R-squared	-0.012320	S.D. dependent var		144.3845
S.E. of regression	145.2712	Akaike info criterion		12.83947
Sum squared resid	886356.3	Schwarz criterion		12.92057
Log likelihood	-280.4684	Hannan-Quinn criter.		12.86955
Durbin-Watson stat	2.089788			

5.15.3 Prueba de Correcta Especificación del Modelo en México

Ramsey RESET test using powers of the fitted values of SO2_mex
 Ho: model has no omitted variables
 F(3, 40) = 7.46
 Prob > F = 0.0004

5.15.4 Estimación de la CKA de Estados Unidos

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	46
Model	936963203	2	468481601	F(2, 43)	=	83.76
Residual	240495294	43	5592913.82	Prob > F	=	0.0000
Total	1.1775e+09	45	26165744.4	R-squared	=	0.7958
				Adj R-squared	=	0.7863
				Root MSE	=	2364.9

SO2_eua	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
PIBp_eua	.8017817	.2918194	2.75	0.009	.2132719 1.390292
piBP2_eua	-.0000196	4.46e-06	-4.39	0.000	-.0000286 -.0000106
_cons	17893.67	4495.462	3.98	0.000	8827.71 26959.64

5.15.5 Análisis de Estacionariedad de las Perturbaciones de Estados Unidos

Null Hypothesis: ERROR_EUA has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 1 (Fixed)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.254192	0.0249
Test critical values:		
1% level	-2.618579	
5% level	-1.948495	
10% level	-1.612135	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(ERROR_EUA)
 Method: Least Squares
 Date: 10/13/16 Time: 01:28
 Sample (adjusted): 1962 2005
 Included observations: 44 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ERROR_EUA(-1)	-0.163443	0.072506	-2.254192	0.0295
D(ERROR_EUA(-1))	0.277512	0.145753	1.903987	0.0638
R-squared	0.135500	Mean dependent var		144.1415
Adjusted R-squared	0.114916	S.D. dependent var		1112.730
S.E. of regression	1046.844	Akaike info criterion		16.78934
Sum squared resid	46027031	Schwarz criterion		16.87044
Log likelihood	-367.3654	Hannan-Quinn criter.		16.81941
Durbin-Watson stat	1.897802			

5.15.6 Prueba de Correcta Especificación del Modelo en Estados Unidos

Ramsey RESET test using powers of the fitted values of SO2_eua

H0: model has no omitted variables

F(3, 40) = 26.56
 Prob > F = 0.0000

5.16 Regresiones Simultáneas Aparentemente no Relacionadas

Seemingly unrelated regression

Equation	Obs	Parms	RMSE	"R-sq"	F-Stat	P
MEX	46	2	333.8873	0.8312	105.80	0.0000
EUA	46	2	2377.474	0.7936	81.33	0.0000

	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
MEX						
PIBp_mex	1.081977	.306367	3.53	0.001	.4729393	1.691014
PIBp2_mex	-.0000492	.0000244	-2.01	0.047	-.0000977	-6.24e-07
_cons	-2939.347	920.1536	-3.19	0.002	-4768.552	-1110.143
EUA						
PIBp_eua	.8978987	.2860618	3.14	0.002	.3292266	1.466571
PIBp2_eua	-.0000207	4.36e-06	-4.75	0.000	-.0000294	-.000012
_cons	16061.35	4421.592	3.63	0.000	7271.514	24851.18

Correlation matrix of residuals:

	MEX	EUA
MEX	1.0000	
EUA	-0.4781	1.0000

Breusch-Pagan test of independence: $\chi^2(1) = 10.514$, Pr = 0.0012