



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas  
Maestría en Economía

Efectos del ingreso y el comercio internacional sobre la frontera de producción de emisiones  
de GEI: el caso de América Latina

Presentada por:

**Laura Juliana Vargas Rueda**

Director:

Martin Bermúdez

Trabajo presentado para optar el título de Magister en Economía de la Pontificia  
Universidad Javeriana

Bogotá D.C. 2014



Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Maestría en Economía



**EFFECTOS DEL INGRESO Y EL COMERCIO INTERNACIONAL SOBRE LA FRONTERA DE  
PRODUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI: EL CASO DE AMÉRICA LATINA<sup>♦</sup>**

**Laura Juliana Vargas Rueda<sup>\*</sup>**

**RESUMEN**

Este trabajo busca encontrar los efectos del ingreso y el comercio internacional sobre la frontera de producción de CO<sub>2</sub> como una aproximación a la frontera de producción de emisiones de GEI. Para lo anterior, se realiza un modelo de frontera estocástica que obtiene como resultados, por una parte, que el ingreso en Latinoamérica se comporta como lo sugiere la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental, sobre la frontera de producción de emisiones y por otra parte, que el impacto del comercio internacional se derivará de las características propias de los bienes transados y del tamaño del intercambio.

*Palabras clave:* Economía ambiental, Curva de Kuznets Ambiental, Comercio Internacional, Frontera Estocástica, Comercio Intrarregional, Comercio Extrarregional.

*Clasificación JEL:* Q56, F13, F64, C23.

---

<sup>♦</sup> Trabajo presentado para optar el título de Magister en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana.

<sup>\*</sup> Agradezco la Dirección del Profesor Martín Bermúdez, sus comentarios y orientación para este trabajo.

## Tabla de contenido

Sección I. Introducción .....	3
Sección II. Revisión de la Literatura.....	6
Sección III. Modelo Econométrico y Datos.....	11
<b>Modelo Econométrico</b> .....	11
<b>Datos</b> .....	14
Sección IV. Resultados del Modelo .....	17
Sección V. Conclusiones .....	24
Sección VI. Recomendaciones.....	26
Sección VII. Bibliografía.....	27
Anexos.....	30
<b>Anexo 1. Tablas de Estimaciones Propias y Definiciones</b> .....	30
Tabla 1. Porcentaje de las emisiones de CO <sub>2</sub> sobre el total de emisiones de GEI por país para los años disponibles. ....	30
Tabla 2. Fuentes y definiciones de las variables utilizadas en el modelo econométrico.....	30
Tabla 3. Porcentaje de importaciones y exportaciones de mercaderías desde y hacia países de ingresos altos y países de América Latina y el Caribe. ....	32
Tabla 4. Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las actividades económicas utilizadas por el Banco Mundial para la variable industrialización. Tomada de United Nations Statistics Division.....	32
Tabla 5. Clasificación Tecnológica de Manufacturas. Tomada de Lall (2000).....	33
Tabla 6. Producción de Energía Eléctrica por Fuentes.....	34
<b>Anexo 2. Estadísticas descriptivas, Test de raíz unitaria y Test de Hausman</b> .....	39
Tabla 1. Estadísticas Descriptivas.....	39
Tabla 2. Test de raíz unitaria de Im-Pesaran-Shin.....	40
Tabla 3. Test de Fisher basado en el test ADF.....	40
Tabla 4. Test de Hausman .....	41

## Sección I. Introducción

La problemática ambiental es uno de los retos más grandes para el mundo actual. Esta reúne varios problemas entre los cuales se pueden mencionar el control de la contaminación ambiental, el grado de agotamiento de recursos naturales, la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y el proceso de adaptación a estos que ya han producido estragos a escalas importantes tanto locales como globales. Es así como el tema ambiental ha venido posicionándose en todas las áreas del conocimiento, con especial fuerza desde la década de 1990 a partir de varias conferencias mundiales sobre los diversos problemas ambientales particulares. La economía no ha sido ajena a esta dinámica y en su interior se han generado diversas corrientes, siendo las más reconocidas la Economía Ambiental, la Economía de los Recursos Naturales y, más recientemente, la Economía del Cambio Climático. Este trabajo se sitúa específicamente en la intersección entre las emisiones contaminantes analizadas por la economía ambiental y los efectos derivados que se relacionan con el cambio climático.

La economía ambiental se dedica al estudio de problemas ambientales desde el punto de vista económico. Este se puede generalizar en tres tipos de investigaciones. La primera, es la búsqueda de optimización del comportamiento de los individuos que lleve a disminuir los niveles de contaminación y mejorar el uso de los recursos naturales. La segunda, es la estimación de valores económicos de los daños ambientales para buscar los niveles de compensación necesarios que lleven a eliminar las externalidades generadas. Y la tercera, es estudiar los *trade off* entre la conservación del medio ambiente y las actividades que generan crecimiento económico.

El crecimiento económico es una de las preocupaciones más relevantes para los países, por lo cual siempre ha ocupado un lugar central en los estudios económicos y ha sido bastante estudiado desde la perspectiva ambiental. Particularmente, se han estudiado las

relaciones entre emisiones de gases de efecto invernadero (en adelante GEI) y el crecimiento y desarrollo de los países. Por otra parte, el comercio internacional juega un rol significativo en el crecimiento y desarrollo de un país, por lo que también ha sido parte fundamental de los estudios mencionados. De lo anterior, se debe reconocer que existe una estrecha relación entre emisiones de GEI, crecimiento económico y comercio internacional, pero la pregunta es ¿cuál es la dirección y magnitud de esta relación?

Como respuesta han surgido diversos enfoques como la hipótesis estadística de la Curva de Kuznets Ambiental (en adelante CKA) que define una relación en forma de U invertida entre el ingreso y las emisiones. Como se presentará más adelante, existen muchos trabajos al respecto que utilizan diversas metodologías y obtienen divergentes resultados. Para este estudio son de especial interés aquellos que han estudiado la relación del comercio internacional sobre la CKA.

El objetivo central de este trabajo es encontrar cuáles son los efectos del comercio internacional sobre la CKA utilizando un modelo econométrico de frontera estocástica para un panel de datos de países pertenecientes al continente americano. Una buena parte de los estudios existentes sobre el tema se han realizado para todos los países posibles del mundo divididos por ingresos; en esta ocasión, se elige el continente americano por tener homogeneidad en los ingresos de los países (exceptuando a Estados Unidos, Canadá y Brasil) y porque entre ellos se transan en promedio el 30% del total de las mercaderías importadas y exportada<sup>1</sup>.

Así mismo, introducir variables de comercio internacional en el modelaje de la CKA es importante por los beneficios y costos que el intercambio global de bienes y servicios trae para las economías abiertas<sup>2</sup>. De manera particular para este estudio, están los impactos que trae trasladar contaminación y recursos naturales de un país a otro, en este caso, por

---

<sup>1</sup> Cifra hallada para este trabajo utilizando el promedio de la cifra de porcentaje de mercaderías, entendiendo como mercadería todo bien y/o servicio transado internacionalmente, importadas y exportadas hacia países de América Latina (cifra tomada del Banco Mundial)

<sup>2</sup> Según *Helpman (2011)* estos beneficios se resumen en: Aumento de la variedad de bienes, reducción de costos por medio de las economías a escala, aumento de la competencia y el aumento de la circulación de ideas.

la especialización de países en la producción de bienes intensivos en materias primas o en consumo de energía, mientras que otros se especializan en la importación de estos bienes y la producción de bienes no intensivos en consumo de energía.

A pesar de que existen muchos trabajos sobre los efectos del comercio sobre la CKA y sobre las fronteras de producción estocásticas, no hay a la fecha estudios que combinen estos dos elementos. Por tanto, la importancia de este trabajo se enfoca en una nueva perspectiva de la estimación de los efectos del comercio internacional sobre la CKA buscando respuestas que puedan dar paso a nuevas propuestas para entender las dinámicas mundiales de generación, mitigación y adaptación a la contaminación ambiental y el agotamiento de recursos naturales.

## Sección II. Revisión de la Literatura

La hipótesis de la CKA surge como una transformación de la denominada Curva de Kuznets llamada así por ser Simon Kuznets en 1955 el primero en plantear una conjetura según la cual la distribución de ingreso cambia a lo largo de la senda de desarrollo de un país. Específicamente plantea que la desigualdad se incrementa en la primera fase de desarrollo de un país y llega un punto en el cual empieza a decrecer. Es decir, la relación entre desigualdad y el crecimiento económico tiene forma de U invertida. El concepto de CKA se define tiempo después en el principio de los 1990s cuando *Grossman & Krueger (1991)* realizan un estudio sobre los impactos potenciales del *North American Free Trade Agreement (NAFTA)*<sup>3</sup> sobre el medio ambiente dado el incremento en la escala de la actividad económica. En este trabajo se empieza a hablar sobre la relación en forma de U invertida entre emisiones y crecimiento económico y más adelante el nombre de la CKA es adoptado por mantener la forma de U invertida de la Curva de Kuznets original.

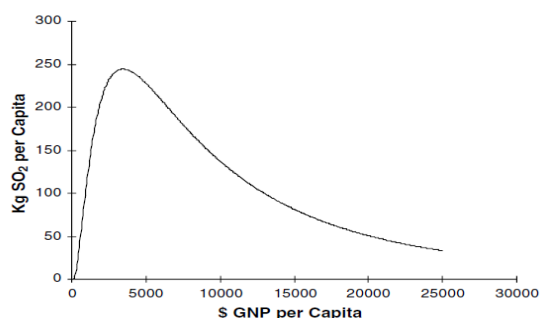
Como se mencionó anteriormente, la CKA plantea la relación existente entre indicadores de degradación ambiental y el ingreso de los países. Los determinantes de esta degradación son los GEI como CO<sub>2</sub>, emisiones de óxido nitroso, entre otros. Esta hipótesis plantea que, al principio del proceso de desarrollo de un país cuando el ingreso es bajo y el proceso de industrialización está empezando, hay un alto grado de emisiones. Sin embargo, a medida que el proceso de industrialización avanza la creación de nuevas tecnologías que sustituyen las iniciales lleva a los países a bajar el grado de emisiones. En otras palabras, la CKA es una curva de relación entre ingreso y emisiones que tiene forma de U invertida (gráfica 1)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Tratado de libre comercio firmado por México, Canadá y Estados Unidos firmado en 1992

<sup>4</sup> Gráfica tomada de *Stern (2004)*

Gráfica 1. Curva de Kuznets Ambiental para emisiones de SO<sub>2</sub> (azufre) e ingreso per cápita.



Alrededor de la CKA hay múltiples estudios con resultados divergentes entre sí. La literatura clásica de la CKA plantea como metodología de sustentación empírica modelos de panel de datos en los que el producto per cápita es función de las emisiones per cápita; adicionalmente, se agrega el coeficiente de producto per cápita al cuadrado para modelar mejor el efecto marginal decreciente que plantea la CKA.

*Selden & Song (1994)* estiman la CKA para emisiones de: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SPM y CO para 30 países que a su vez categorizan como países con ingresos altos, medios y bajos; de lo anterior, obtienen como resultado que el ingreso es estadísticamente significativo en la curva de los diferentes contaminantes con excepción del CO y el punto de ingreso en dólares en el que empiezan a decrecer las emisiones es de \$8.709 para SO<sub>2</sub>, \$11.217 para NO<sub>x</sub>, \$10.289 para SPM y \$5.963 para CO.

*Grossman & Krueger (1994)* estiman una CKA para las emisiones de SO<sub>2</sub>, gases y partículas suspendidas (SPM), buscando encontrar el impacto potencial del acuerdo comercial entre Estados Unidos, Canadá y México (NAFTA) en la CKA. Los autores encuentran que las variables de comercio internacional, tienen un impacto significativo y negativo sobre las emisiones de SO<sub>2</sub> y en los casos de humos y SPM no eran significativas.

Pese a que existen numerosos estudios desarrollados sobre la CKA, recientemente se han hecho muchas críticas teóricas a la existencia, y econométricas respecto a la estimación de la misma. *Stern (2004)* resume las críticas a la CKA agrupándolas en dos: teóricas y econométricas.



Las críticas teóricas, por una parte, hacen referencia al supuesto que el ingreso per cápita es una variable exógena en el modelo. La crítica es que las emisiones también pueden verse afectadas por el nivel de ingreso. Para entender mejor se puede pensar en bienes que requieren como insumo recursos naturales, que se ven afectados por los cambios climáticos producidos por las emisiones. Por otra parte, se hace referencia a la intensidad de uso de insumos en la producción, específicamente, se sugiere desde la teoría de intercambio de Heckscher-Ohlin<sup>5</sup> que los países en desarrollo se especializan en la producción de bienes intensivos en trabajo y recursos naturales, mientras que, los países desarrollados especializan su producción en bienes intensivos en capital y capital humano, llegando así, a una reducción en la contaminación que está relacionada con el tipo de bienes que producen y no con el ingreso directamente.

Las críticas econométricas se refieren a:

- Heteroscedasticidad: cuando se trata de modelos de corte transversal, los datos pueden ser muy heterogéneos. Si se toma una muestra con países muy diferentes entre sí, los residuales pueden variar por país;
- Simultaneidad: como se mencionó antes, los modelos iniciales de la CKA suponen que el ingreso afecta las emisiones, sin embargo, las emisiones también pueden afectar el ingreso. Lo anterior, da espacio a problemas de simultaneidad;
- Sesgo por variable omitida: se han realizado diversos estudios que dan tres líneas de evidencia sobre la existencia de sesgo por variable omitida. La primera, muestra diferencias significativas entre los parámetros estimados de los modelos de efectos fijos y efectos aleatorios (utilizando el test de Hausman); esto indica que los regresores están correlacionados con los efectos por individuo y por tiempo, y por tanto, pueden estar correlacionados con variables omitidas. La segunda, muestra diferencias entre los coeficientes estimados en submuestras diferentes. Y la tercera, tests de correlación serial muestran que el modelo puede estar mal especificado;

---

<sup>5</sup> Helpman (2011) resume el Teorema de Heckscher-Ohlin diciendo que las *commodities* que utilizan grandes cantidades de insumos escasos son importados y de esta manera, las *commodities* que utilizan en su producción grandes cantidades de insumos relativamente abundantes son exportados

- Cointegración: cuando se realizan pruebas de raíz unitaria se encuentra que las series de emisiones per cápita de carbono, las emisiones per cápita de azufre y el PIB per cápita no son estacionarias, lo que sugiere que las series pueden estar cointegradas.

Como solución a varios de estos problemas econométricos, *Stern (2004)* plantea dos modelaciones alternativas a la clásica: una es la descomposición de las emisiones que consiste en realizar índices de descomposiciones de emisiones por sectores de la economía y la otra es utilizar modelos de frontera estocástica.

Dadas las críticas teóricas que ha tenido la CKA en relación con la especialización de los países en la producción de bienes intensivos en insumos que pueden generar más o menos emisiones y el hecho que la globalización ha contribuido a la importancia intercambio comercial para el crecimiento de las economías, lo cual se ha convertido en parte fundamental del estudio ambiental. De los numerosos estudios existentes sobre este tema, se mencionarán dos que han sido una guía fundamental de este trabajo.

*Suri Chapman (1998)* desarrollan un modelo de panel de datos clásico para estimar la CKA y el efecto del comercio y el consumo de energía sobre la misma. En el modelo, dividen los bienes de manufactura en: razón de importaciones (y exportaciones) y bienes de manufactura de bienes intensivos y no intensivos en energía e incluyen una variable de cambio estructural que es el total de producción de bienes de manufactura<sup>6</sup>. Los autores concluyen que los países desarrollados y en vía de desarrollo pueden aumentar o disminuir sus consumos de energía exportando o importando bienes de manufactura. Más allá de eso, concluyen que, las exportaciones de bienes manufacturados son un factor importante en la generación del aumento inicial de la CKA y las importaciones de los mismos, lo son en la generación de la posterior caída de la CKA.

*Taskin & Zaim (2001)*, por su parte, utilizan un modelo de frontera de producción no paramétrica no estocástica. En el modelo primero se desarrolla un índice de eficiencia ambiental para países de ingresos altos, ingresos bajos e ingresos medios y después se

---

<sup>6</sup> Bienes de manufactura para consumo doméstico + bienes de manufactura para exportación.

examina el efecto del intercambio en los cambios en la eficiencia técnica. Los autores obtienen que el ingreso per cápita, las variables relacionadas con comercio, el tamaño de las exportaciones de polución y la apertura de un país, son determinantes en la eficiencia de un país. Como se anotó previamente a esta breve revisión de la literatura existente sobre la CKA, hay gran variedad de argumentos y modelos desarrollados en el tema. El objetivo de esta sección ha sido mostrar la CKA con sus críticas, algunos de los modelos que se han utilizado para la estimación de la misma y los supuestos teóricos que la soportan. Particularmente, se ha dedicado parte de la sección a mostrar los avances en temas de comercio por la relevancia de este punto específico en el análisis teórico de la CKA y en este estudio.

## Sección III. Modelo Econométrico y Datos

### Modelo Econométrico

La metodología escogida para responder la hipótesis planteada en este trabajo es un modelo de frontera de producción estocástica para un panel de datos del continente americano. Como se mencionó antes, existe mucha literatura que realiza estudios de fronteras de producción determinísticas para fines similares a los de esta investigación. Sin embargo, los modelos de frontera estocástica como su nombre lo define, permiten incluir choques a estas funciones de producción. Lo anterior resulta útil cuando existen variables que afectan la eficiencia técnica de la función de producción pero no la forma funcional de la misma. Más allá de eso, conllevan a dos resultados: por una parte, los parámetros describen la estructura de una función de producción (en este caso la función de producción de emisiones de GEI) y por la otra, estiman la eficiencia técnica de cada productor al elaborar el bien  $y$ , específicamente, los datos utilizados son las observaciones de los *inputs* utilizados en la producción de  $y$ .

Para ilustrar, suponemos que existen  $i = 1, \dots, I$  países,  $t = 1, \dots, T$  periodos y que la función de producción  $f(x_{i,t}; \beta)$  es tipo *Cobb-Douglas*. Entonces, la frontera de producción con ineficiencia técnica invariante en el tiempo puede ser escrita como:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + v_{it} - u_i \quad (1)$$

Donde  $x_{i,t}$  son los insumos del país  $i$  en el momento  $t$ ,  $v_{it}$  es un ruido estadístico aleatorio y  $u_i \geq 0$  es la ineficiencia técnica, que como se mencionó, es invariante en el tiempo.

La eficiencia técnica del modelo se mide en términos de aumentos equiproporcionales del *output*. Específicamente, *Kumbhakar & Lovell (2003)* definen la eficiencia técnica como:

“Una medida de eficiencia técnica producto-orientada es una función  $TE_o(x, y) = \{\max[\phi: \phi y \in P(x)]\}^{-1}$ ”

Donde  $P(x)$  son los conjuntos de producción de la tecnología de producción, es decir, los conjuntos de vectores de *output* que son posibles para cada vector de *input*,  $\phi$  hace referencia a la expansión equiproporcional del *output*<sup>7</sup>. La ineficiencia técnica por su parte, es el inverso de la eficiencia técnica.

Esto quiere decir que, si no es posible una expansión equiproporcional de los *outputs*, entonces, el vector de *outputs* es técnicamente eficiente.

La estimación del modelo puede llevarse a cabo de tres formas diferentes:

1. Efectos fijos
2. Efectos aleatorios
3. Máxima Verosimilitud

Para efectos de este trabajo se elige como método de estimación efectos fijos debido a que durante el periodo de tiempo incluido en la muestra no se esperan cambios aleatorios que puedan afectar la ineficiencia técnica de la función de producción de emisiones de CO<sub>2</sub> y no se quiere limitar la ineficiencia técnica con supuestos distribucionales. Específicamente, la metodología de efectos fijos es escogida pensando en que no hay choques de carácter aleatorio que afecten la producción de emisiones. Por una parte, desde la firma del Protocolo de Kyoto<sup>8</sup> en 1997 y otros acuerdos internacionales, se ha prestado mayor atención a las emisiones de GEI por lo que se espera que no haya aumentos ni disminuciones repentinos de emisiones y por otra parte, *Galindo & Samaniego (2010)* a partir de proyecciones realizadas de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de consumo de energía y cemento, señalan que el crecimiento económico de América Latina viene acompañado de un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero al mismo tiempo se observa un proceso relativo paulatino de desacoplamiento de las emisiones con

---

<sup>7</sup> El exponente negativo hace parte de la definición por ser esta la inversa de la minimización de los *inputs* requeridos para alcanzar la frontera de producción.

<sup>8</sup> Protocolo que compromete a 37 países industrializados y la Unión Europea a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero basándose en los principios establecidos por la Convención del Cambio Climático.

respecto a la trayectoria del PIB, por tanto, no se espera que choques de producción tengan efectos sobre las emisiones de GEI.

Es importante resaltar que este método de estimación tiene las siguientes ventajas y desventajas:

#### Ventajas

- No requiere un supuesto distribucional sobre  $u_i$ .
- Permite que el término  $u_i$  esté correlacionado con los regresores o con  $v_{it}$ .

#### Desventajas

- El término  $u_i$  captura cualquier efecto de heterogeneidad entre los países adicional a la eficiencia técnica. Como consecuencia de esta desventaja, se pueden obtener resultados contra-intuitivos en el *ranking* de la eficiencia técnica cuando se realizan modelos con ineficiencia técnica invariante en el tiempo.
- La ineficiencia técnica se estima en relación al “mejor” en la muestra.

Además, se permite la variación del término de ineficiencia técnica por país, puesto que cada país se rige por un proceso de industrialización diferente lo que lleva a una menor o mayor eficiencia técnica en la producción de emisiones pese a que la muestra se considera homogénea en términos de ingreso. Por tanto, el modelo a estimar es:

$$\ln y_{it} = \beta_{0i} + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + v_{it} \quad (2)$$

Donde,

$$\beta_{0i} = (\beta_0 - u_i) \quad (3)$$

La estimación de efectos fijos se lleva a cabo por mínimos cuadrados con variables dummy (*LDSV*). Después de obtener el valor de la ineficiencia técnica  $u_i$ , hallamos la eficiencia técnica por país que está definida como:

$$TE_i = \exp\{u_i\} \quad (4)$$

Así, como se mencionó antes, uno de los países se considera 100% eficiente y la eficiencia técnica de los demás países se mide relativa a esta.

En resumen, buscando estimar el desempeño de países seleccionados y sus emisiones de CO<sub>2</sub> dados unos insumos de producción, el modelo a estimar es:

$$\ln y_{it} = \beta_{0i} + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{kit} + \sum_{j=1}^M \theta_j \ln z_{jit} + v_{it} \quad (5)$$

Donde  $y_{it}$  son las emisiones,  $x_{it}$  son los insumos de producción,  $z_{it}$  son las variables de control y de comercio internacional del país  $i$  en el momento  $t$  y  $v_{it}$  es *iid*  $(0, \sigma_v^2)$ .

## Datos

Para la estimación de modelo en la ecuación (5) será utilizada una serie de datos desde 1990 hasta 2010 para los siguientes países del continente americano: Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, México, Panamá, Perú, Uruguay y Venezuela<sup>9</sup>.

Como variable dependiente se utilizará el logaritmo de las emisiones de GEI medidas en kilotoneladas de CO<sub>2</sub>. Se toman solamente las emisiones de CO<sub>2</sub> por dos razones: la primera, disponibilidad de datos de emisiones de los demás GEI para todos los años de la muestra y la segunda, en promedio las emisiones de CO<sub>2</sub> componen entre el 41% y 53% de las emisiones totales de GEI. Esta información se puede consultar en detalle en la tabla 1 del anexo 1.<sup>10</sup>

Las variables independientes del modelo son: el logaritmo del PIB real, el logaritmo del PIB real al cuadrado, el logaritmo de la población, el logaritmo del consumo de energía eléctrica medida en kWh, el logaritmo de la industrialización real, la deforestación y dos

<sup>9</sup> Inicialmente se incluyó Argentina dentro de la muestra, sin embargo, no pudo ser incluida por información faltante.

<sup>10</sup> Fuente: Elaboración propia.

variables de comercio internacional que serán explicadas en detalle a continuación. Las dos primeras variables, tratan de capturar el efecto de lo que sería la CKA convencional, mientras que las siguientes cuatro variables, están definiendo los *inputs* más importantes sobre la cantidad producida de emisiones de CO<sub>2</sub>; finalmente, las variables de comercio internacional son incluidas para contrastar la hipótesis de este trabajo. La información detallada sobre las definiciones y fuentes de las variables del modelo puede ser consultada en la tabla 2 del anexo 1.

Como se ha mencionado antes, el objeto de este estudio más allá de encontrar el efecto del PIB sobre la producción de emisiones de GEI, es hallar el impacto del comercio internacional sobre estas. Por tal razón, el modelo incluye dos variables que fueron construidas a partir de información de importaciones y exportaciones totales de mercaderías e importaciones y exportaciones de mercaderías desde y hacia países de ingresos altos y países en desarrollo de América Latina y el Caribe. Se decide analizar por separado al comercio internacional a través de estas dos variables con el fin de diferenciar los efectos del comercio intrarregional y extrarregional sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Los resultados que arrojen estas variables son importantes porque por una parte, sugerirán qué tipos de mercaderías se transan entre las economías y por otra parte, mostrarán si es posible que las economías de ingresos altos estén trasladando producción de bienes y servicios que requieran la producción de mayores emisiones en América Latina.

Estas dos variables se construyen a partir del índice de comercio intrarregional sugerido en *Durán & Alvarez (2008)* quienes hacen una recopilación de índices de comercio internacional:

$$ICHighIncome = \frac{Imp. desde Economías de HI + Exp. hacia economías de HI}{Importaciones totales + Exportaciones totales} \quad (6)$$



*ICLATAM*

$$= \frac{\text{Imp. desde Economías de LATAM} + \text{Exp. hacia economías de LATAM}}{\text{Importaciones totales} + \text{Exportaciones totales}} \quad (7)$$

Donde *HI* hace referencia a *high income*, *LATAM* a América Latina y el Caribe, *ICHighIncome* es el índice de comercio extrarregional con países de ingresos altos y *ICLATAM* es el índice de comercio intrarregional entre los países de América Latina y el Caribe.

## Sección IV. Resultados del Modelo

Antes de entrar en los detalles de la estimación del modelo, es importante mencionar que en el Anexo 2 se encuentran las estadísticas descriptivas, las pruebas de raíz unitaria<sup>11</sup> y el test de Hausman para probar que la estimación con efectos fijos es una buena opción de modelo.<sup>12</sup>

A continuación se encuentran los resultados obtenidos de la estimación del modelo en la ecuación (5):

<b>Time-invariant fixed-effects model (LSDV)</b>						
	<b>Coefficiente</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>z</b>	<b>P&gt;z</b>	<b>[95% Conf. Intervalo]</b>	
<b>logpib</b>	3.27692	0.5131035	6.39	0.000	2.271256	4.28259
<b>logpib2</b>	-0.0586663	0.0106935	-5.49	0.000	-0.0796252	-0.0377
<b>logpob</b>	0.0123986	0.1879696	0.07	0.947	-0.3560151	0.38081
<b>logconkw</b>	0.3445645	0.0655533	5.26	0.000	0.2160824	0.47305
<b>def</b>	0.0123483	0.0034001	3.63	0.000	0.0056843	0.01901
<b>logindreal</b>	0.0160284	0.0057389	2.79	0.005	0.0047804	0.02728
<b>IC_hincome</b>	0.0002401	0.0013101	0.18	0.055	-0.0023278	0.00281
<b>IC_latam</b>	-0.0025715	0.001646	-1.56	0.118	-0.0057976	0.00065
<b>constante</b>	-42.9167	6.654497	-6.45	0.000	-55.95928	-29.874
<b>sigma_u</b>	0.67051469					
<b>sigma_v</b>	0.09918042					

Y la eficiencia técnica de cada país es:

<b>PAIS</b>	<b>EFICIENCIA</b>
<b>VEN</b>	1
<b>MEX</b>	0.9516911
<b>BRA</b>	0.9270034
<b>BOL</b>	0.6900029
<b>COL</b>	0.4998157
<b>ECU</b>	0.4345325
<b>PER</b>	0.3657818

<sup>11</sup> Estas pruebas son realizadas con el fin de descartar una regresión espuria en panel de datos

<sup>12</sup> Todas las estimaciones se realizaron en Stata

<b>HND</b>	0.3566671
<b>CHL</b>	0.2985663
<b>NIC</b>	0.2908179
<b>GTM</b>	0.2442095
<b>PAN</b>	0.2281211
<b>CRI</b>	0.1856764
<b>SLV</b>	0.1499472
<b>URY</b>	0.1116662

Los resultados del modelo de frontera estocástica son:

- El logaritmo del PIB y el logaritmo del PIB al cuadrado, tienen un efecto positivo y negativo respectivamente sobre la frontera de producción de CO<sub>2</sub> y son estadísticamente significativos al 1% de significancia. Hallando el efecto marginal<sup>13</sup> del logaritmo del PIB sobre el logaritmo de las emisiones de CO<sub>2</sub> encontramos que con un aumento de 1% en el logaritmo del PIB promedio de los países de la muestra, se espera un aumento de 3.15% en las emisiones. Este resultado coincide con la hipótesis planteada por la CKA, esto quiere decir que, el modelo aquí planteado sustenta la relación en forma de U invertida entre ingreso y emisiones de CO<sub>2</sub> para los países escogidos en la muestra durante el periodo de estudio.
- El logaritmo de la población tiene un efecto positivo sobre la frontera de emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, esta variable no es estadísticamente significativa al 5%. Esto puede suceder porque las emisiones de CO<sub>2</sub> no están relacionadas directamente con el tamaño de la población sino con el tipo de bienes que consume la población. Existen indicadores como la huella ecológica<sup>14</sup> que son mejores aproximaciones al aporte de los individuos a la frontera de emisiones de GEI, sin

<sup>13</sup> El efecto marginal será igual a:  $\beta_1 + 2\beta_2$  donde  $\beta_1$  hace referencia al parámetro que acompaña la variable  $\log\text{pib}$  y  $\beta_2$  a  $\log\text{pib}^2$ .

<sup>14</sup> Indicador ambiental que permite medir y evaluar el impacto sobre el planeta de una determinada forma de vida en relación a la capacidad de la naturaleza para renovar los recursos al servicio de los seres humanos. Tomado de la página oficial que mide la huella ecológica para Colombia. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>

embargo, todavía no existen datos suficientes para incorporarlos en estos modelos.<sup>15</sup>

- El logaritmo del consumo de energía eléctrica, la deforestación y el logaritmo de la industrialización real tienen un efecto positivo y estadísticamente significativo al 1% de significancia sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Específicamente, con un aumento del 1% del consumo de energía eléctrica promedio de la región, se espera un aumento de 0.34% sobre el logaritmo de las emisiones de CO<sub>2</sub>; con un aumento de 1 m<sup>2</sup> de área deforestada en promedio en la región, se espera un aumento de 1.2 kt sobre el logaritmo de emisiones de CO<sub>2</sub>; por último, con un aumento de 1% en la industrialización promedio de la región se espera un aumento de 0,016% en el logaritmo de las emisiones de CO<sub>2</sub> promedio de la región. Este resultado era de esperarse dado que estas variables son los *inputs* más relevantes en la producción de emisiones de CO<sub>2</sub><sup>16</sup>.
- Por último, las variables de comercio internacional muestran valores diferentes entre sí. Por una parte, el índice de comercio extrarregional con países de ingresos altos, como era de esperarse, tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo al 10% sobre la frontera de producción. Y por otra parte, el índice de comercio intrarregional con países en desarrollo de América Latina y el Caribe, de manera sorprendente, tiene un efecto negativo pero estadísticamente no significativo al 5% de significancia. Particularmente, con aumento de 1 en el índice de comercio extrarregional, se espera un aumento de 0,024 kt del logaritmo de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Dada la importancia de las variables de comercio para este trabajo de investigación y sus resultados inesperados, se hará un análisis detallado más adelante.

---

<sup>15</sup> También se estimó el modelo sin el logaritmo de la población y no se generaron grandes cambios en los resultados. Los signos siguen siendo iguales y las variables restantes son estadísticamente significativas. Por esta razón, no se cambió el modelo inicial

<sup>16</sup> Es importante resaltar que la variable deforestación no es incluida dentro de la definición de emisiones de CO<sub>2</sub> en kt por el Banco Mundial. Sin embargo, al ser estadísticamente significativa en el modelo se decide dejarla para no incurrir en sesgo por variable omitida.

Ahora bien, el ranking de eficiencia técnica de los 15 países incluidos en el modelo se hace respecto a Venezuela, pues, es el país que tiene la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub> más eficiente de la muestra. Esto quiere decir que, Venezuela es el país que con sus *inputs* emite de manera más eficiente y se encuentra más cerca de su frontera de producción de emisiones óptima, lo anterior no quiere decir que Venezuela es el país más limpio o sucio de la muestra, la única implicación que da el modelo es que, es el país que dados sus niveles de ingreso, comercio intra y extrarregional, consumo de energía eléctrica, deforestación e industrialización real produce emisiones de CO<sub>2</sub> de manera más eficiente respecto a los demás países de la muestra.

El hecho que Venezuela sea el más eficiente de la muestra y que quienes lo siguen son los países con mayores niveles de PIB de la muestra y los que más consumen energía (con excepción de Chile que se encuentra entre los más ineficientes) puede tener dos fuentes. Por una parte, está el desacoplamiento de las emisiones con respecto a la trayectoria del PIB de Venezuela, México, Perú, Colombia, Chile y un poco más lejos Brasil estimado por *Galindo & Samaniego (2010)*. Y por otra parte, el hecho que un gran porcentaje de la electricidad de estos países (con excepción de México) es producida a partir de fuentes hidroeléctricas<sup>17</sup>, que son consideradas como fuentes de energía renovable. Esto se observa en detalle en las gráficas correspondientes a la tabla 6 del Anexo 1<sup>18</sup>.

En las estimaciones de *Galindo y Samaniego (2010)* también se observa que Honduras, El Salvador, Guatemala y Panamá, que se encuentran entre los países más ineficientes de la muestra, tienen una tasa de desacoplamiento menor que la de los países más eficientes de la muestra.

Por tanto, la posición en el ranking de eficiencia está relacionada con la dinámica del consumo y producción energética industrial de cada país, la manera en que cada uno de estos maximiza el uso de sus recursos y la tasa de desacoplamiento entre emisiones y

---

<sup>17</sup> La energía eléctrica producida a partir de fuentes hidroeléctricas no genera CO<sub>2</sub> en la definición dada por el Banco Mundial, por tanto, es razonable pensar que a mayor uso de fuentes hidroeléctricas para la generación de energía, el país tenga una mayor eficiencia técnica en la producción de CO<sub>2</sub>.

<sup>18</sup> Fuente: Elaboración propia.

trayectoria del PIB. *Altamonte et al. (2011)* muestran en su artículo sobre la dinámica del consumo energético de Brasil, Colombia, Chile y México que pese a la especialización de estos países en sectores intensivos en el uso de recursos naturales, caracterizados por poco contenido tecnológico y una lenta dinámica de productividad, estos pueden garantizar una sostenibilidad energética. Los autores obtienen que, de su muestra, Colombia es el país que más converge a una mayor sostenibilidad energética, seguido por México, Chile y Brasil que a diferencia de los tres primeros, no alcanza un nivel de convergencia.

Adicionalmente, es importante resaltar que otra posible fuente de algunos de los resultados del ranking de la eficiencia técnica para algunos países puede estar en la invariancia de la eficiencia técnica a través de los años. Si se observan nuevamente las gráficas de la tabla 6 del anexo 1, es posible notar que los países con mayor eficiencia técnica según el ranking, además de tener un alto uso de fuentes de energía hidroeléctrica (con excepción de México) y una mayor tasa de desacoplamiento (con excepción de Chile), han mantenido una producción de energía eléctrica de cada fuente constante en el tiempo. Por lo anterior, es probable que un modelo que permita variación de la eficiencia técnica en el tiempo obtenga resultados diferentes, sin embargo, esos modelos están fuera del alcance de este trabajo pues no se cuenta con grados de libertad suficientes para realizarlo.

Para terminar, resulta conveniente retornar a las variables de comercio internacional y sus efectos sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Existen al menos dos razones por las cuales el índice de comercio con los países en desarrollo de América Latina y el Caribe puede resultar estadísticamente no significativo en el modelo.

La primera, es que el porcentaje de mercaderías transadas de manera intrarregional es una porción pequeña respecto al total de intercambios de las economías y a la porción de transacciones con países de ingresos altos. En promedio, las economías de la muestra exportan el 25.8% del total de las mercaderías hacia países de América Latina y el Caribe, mientras que exportan en promedio el 60,3% hacia economías de ingresos altos. Por otra

parte, importan en promedio el 29.1% del total de mercaderías desde economías en desarrollo de América Latina y el Caribe y el 66% desde economías de ingresos altos. Lo anterior puede observarse de manera clara en la tabla 3 del anexo 1.<sup>19</sup>

La segunda, es el tipo de bienes que son transados con las economías de ingresos altos y las de América Latina y el Caribe. Según *Durán & Lo Turco (2010)* el comercio intrarregional y extrarregional de América Latina sigue un patrón claro. Específicamente, manifiestan que en el comercio intrarregional se destaca principalmente el intercambio de manufacturas basadas en recursos naturales y manufacturas de tecnología media y baja<sup>20</sup>. Mientras que, el comercio extrarregional se concentra principalmente en materias primas y manufacturas basadas en recursos naturales y productos agroindustriales hacia la Unión Europea, China y el resto de Asia, y manufacturas de contenido tecnológico alto y medio hacia Estados Unidos que es el principal socio comercial externo de las economías de América Latina.

Debido a que Estados Unidos es el principal socio comercial de América Latina en su conjunto, el intercambio de manufacturas de contenido tecnológico alto y medio tienen un peso importante sobre el índice de comercio con las economías de ingresos altos. Como se observa en la tabla 5 del anexo 1, estos productos requieren de mayores procesos industriales que los de contenido tecnológico medio y los basados en recursos naturales, por lo que se podría esperar que su producción tenga mayor impacto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por tanto, el tipo de bienes transados intrarregionalmente, acompañado de su reducido tamaño en comparación con el comercio extrarregional, da un posible soporte a la no

---

<sup>19</sup> Fuente: Elaboración propia.

<sup>20</sup> *Lall (2000)* define los productos de tecnología alta como productos que requieren para su fabricación tecnología avanzada y que cambia rápidamente; los de tecnología media como aquellos que necesitan tecnologías complejas para la elaboración de bienes de capital productos intermedios, usualmente, hacen referencia a la actividad industrial en economías maduras; los de tecnología baja como los productos que requieren de tecnologías básicas y son más intensivos en trabajo; y los basados en recursos naturales como aquellos que son simples e intensivos en trabajo o aquellos que a pesar de utilizar tecnologías desarrolladas, requieren para su elaboración recursos naturales. Ver Tabla 5 del anexo 1.

significancia estadística del índice de comercio intrarregional sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>.



## Sección V. Conclusiones

La revisión de literatura lleva a postular el uso de modelos de frontera estocástica como solución a problemas econométricos introducidos por los modelos utilizados inicialmente para estos análisis. Más allá de eso, en este trabajo se plantea el modelo de frontera estocástica con eficiencia técnica invariante en el tiempo y efectos fijos con el fin de enriquecer la modelación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y superar los problemas mencionados. Al final, se muestra que este modelo arroja resultados son acordes con la teoría económica. También se obtiene que se podría avanzar en la investigación permitiendo la variación de la eficiencia técnica en el tiempo.

De los resultados del modelo, se obtienen las siguientes conclusiones:

La primera es la convergencia condicional del modelo econométrico a la hipótesis de la CKA. Esto lleva a determinar que para el caso específico de América Latina, el ingreso tiene un efecto inicial positivo sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>, efecto que, en algún punto de mayor ingreso se torna negativo. Por tanto, se comprueba el ajuste de la hipótesis de la CKA para el caso latinoamericano en el periodo estudiado.

Una segunda conclusión es que el tamaño de la población no juega un papel importante como *input* de la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Como se mencionó antes, la razón de este hallazgo puede ser que, es difícil imaginar que todas las personas producen la misma cantidad de emisiones, el estilo de vida de cada individuo será el determinante de la contribución de cada uno a la frontera de producción.

Además, se llega a la conclusión más polémica de esta investigación. Esta se refiere al hecho que el índice de comercio extrarregional, a diferencia del índice de comercio intrarregional con países de América Latina y el Caribe, tiene efecto estadístico significativo sobre la función de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Al inicio de la investigación se esperaba que todo indicador de comercio internacional tuviera impacto sobre la frontera, sin embargo, el modelo econométrico se sugiere que no es así. A lo

largo de la discusión, se expone que el impacto del índice de comercio sea intrarregional o extrarregional, dependerá del tipo de bienes que son transados y el tamaño de las transacciones. Por lo anterior, se obtiene que dado el reducido tamaño del comercio intrarregional comparado con el extrarregional y el tipo de bienes transados, en el caso de Latinoamérica, el comercio al interior de la región no tiene impacto estadísticamente significativo sobre la frontera de producción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para terminar, es fundamental resaltar que el crecimiento sostenible es posible y que los países de América Latina pueden dar cuenta de lo anterior. Acentuar el desacoplamiento entre las emisiones de GEI y la trayectoria del ingreso, descubrir a fondo los patrones de especialización de los países y optimizar estos en función de las emisiones de CO<sub>2</sub>, o continuar con el uso de fuentes hidroeléctricas para la producción de energía eléctrica, pueden ser soluciones planteadas a partir de los resultados obtenidos en este trabajo. Es claro que aún falta mucho por investigar, pero también es indudable que los resultados acá obtenidos pueden ser un buen comienzo.

## Sección VI. Recomendaciones

Además de las conclusiones mencionadas en la sección anterior, este proyecto también deja puertas abiertas para futuras investigaciones. A continuación se hace mención de algunas recomendaciones.

Respecto al tema de la CKA sería interesante saber si ¿Existe convergencia de la CKA para otras regiones o países diferentes a los tomados aquí?, por otra parte, las recomendaciones correspondientes a el efecto de la población sobre las emisiones son encontrar patrones de consumo por edad, clase e incluso por género y por último, en razón al efecto del comercio intra y extrarregional sobre las emisiones, existen posibilidades como tomar de manera individual que tengan altos índices de comercio intra y extrarregional y ver su comportamiento, desagregar la economía por subsectores y examinar sus patrones de especialización o buscar el patrón de especialización que optimice la frontera de emisiones de CO<sub>2</sub> u otros GEI.

## Sección VII. Bibliografía

Altomonte, H., Correa, N., Rivas, D. & G. Stumpo, “La dinámica del consumo energético industrial en América Latina y sus implicaciones para un desarrollo sostenible,” *Revista CEPAL*, Edición 105, diciembre 2011

Arellano, M., “*Panel Data Econometrics*,” Oxford University Press (2003)

Belotti, F., Daidone, S., Ilardi, G. & V. Atella, “Stochastic frontier analysis using Stata,” *The Stata Journal*, vv, No. ii (2012), pp. 1-39

Dornbusch, R. & S. Fischer, “*Macroeconomics*,” Mc-Graw Hill College (1993)

Durán, J. & M. Alvarez, “Indicadores de comercio exterior y política comercial: mediciones de posición y dinamismo comercial,” *CEPAL-Colección Documentos de Proyectos*, noviembre 2008.

Durán, J. & A. Lo Turco, “El comercio intrarregional en América Latina: Patrón de especialización y potencial exportador,” *Serie Red Mercosur*, No. 18 (2010), capítulo 3.

Galindo, L. M. & J. Samaniego, “La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados,” *Revista CEPAL*, Edición 100, abril 2010

Greene, W, “Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models,” *Department of Economics, Stern School of Business, New York University*, Octubre 2002.

Grossman, G. M. & A. B. Krueger, “Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement,” in P. Garber (E.), *The US-Mexico Free Trade Agreement* (Cambridge: MIT Press, 1994)

Helpman, E. “Understanding global trade”, Harvard University Press (2011)

Kumbhakar, S. & C. A. Lovell, “*Stochastic Frontier Analysis*”, Cambridge University Press (2003).

Kuznets, S. "Economic growth and income inequality." *The American economic review*, Vol. 45, No. 1 (1955), pp. 1-28

Krugman, P. & M. Obstfeld, "*International Economics: Theory and Policy*," Pearson Education, Sixth Edition

Lall, S. "The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-1998," *QEH working Paper*, No. 44 (2000).

Lozano, S. & E. Gutiérrez, "Non-parametric frontier approach to modelling the relationships among population, GDP, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions", *Journal of Ecological Economics*, Vol. 66 (2008), pp. 687-699

Perman, R. & D. Stern, "Evidence from panel unit root and cointegration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist", *Australian Agricultural and Resource Economics Society*, Vol. 47, No. 3 (2003), pp. 325-347

Selden, T. M. & D. Song, "Environmental quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution?", *Journal of Environmental Economics and Environmental Management*, Vol. 27 (1994), pp. 147-162

Stern, D., "Global Sulfur Emissions from 1985 to 2000", *Chemosphere*, 58 (2005), pp. 163-175

Stern, D., "Environmental Kuznets Curve", *Encyclopedia of Energy*, Vol. 2, (2004)

Stern, D., "The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve", *World Development*, Vol. 32, No. 8 (2004), pp. 1419-1439

Stern, D., Common M. & E. Barbier, "Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets Curve and Sustainable Development," *World development*, Vol 24, No. 7 (1996), pp. 1151-1160.

Stern, N., "Stern review: The economics of climate change," ubicado en: <http://www.icaew.com/en/library/subject-gateways/environment-and-sustainability/stern-review>

Suri, V. & D. Chapman, "Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets Curve," *Journal of Ecological Economics*, Vol. 25 (1998), pp. 195-208.

Taskin, F. & O. Zaim, "Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: a Non-parametric approach," *Journal of Environmental Management*, Vol. 58 (2000), pp. 95-107.

Taskin, F. & O. Zaim, "The role of international trade on environmental efficiency: a DEA approach," *Journal of Economic Modelling*, Vol. 18 (2001), pp. 1-17.

## Anexos

### Anexo 1. Tablas de Estimaciones Propias y Definiciones

**Tabla 1.** Porcentaje de las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre el total de emisiones de GEI por país para los años disponibles.

País	Promedio CO <sub>2</sub> /GEI 1990	Promedio CO <sub>2</sub> /GEI 2000	Promedio CO <sub>2</sub> /GEI 2005	Promedio CO <sub>2</sub> /GEI 2008	Promedio CO <sub>2</sub> /GEI 2010
BOL	12.94%	24.75%	21.46%	31.63%	32.35%
BRA	30.16%	38.88%	31.97%	38.38%	38.82%
CHL	66.64%	70.51%	69.72%	71.81%	72.96%
COL	44.86%	43.24%	43.51%	43.27%	45.15%
CRI	34.62%	54.37%	64.52%	70.17%	66.50%
ECU	54.28%	55.30%	60.23%	60.52%	60.95%
GTM	41.12%	22.62%	46.56%	51.02%	47.97%
HND	28.83%	43.29%	47.68%	50.33%	47.75%
MEX	68.98%	71.69%	72.57%	73.73%	72.18%
NIC	24.36%	29.81%	31.22%	31.31%	31.73%
PAN	42.20%	60.15%	60.67%	61.46%	67.25%
PER	52.53%	55.67%	60.14%	62.18%	67.44%
SLV	39.61%	57.77%	58.24%	58.04%	58.16%
URY	15.48%	17.77%	17.71%	22.90%	19.64%
VEN	67.36%	67.96%	71.14%	70.24%	72.89%
<b>Total Porcentaje de CO<sub>2</sub> sobre el total</b>	41.60%	47.58%	50.49%	53.13%	53.45%

**Tabla 2.** Fuentes y definiciones de las variables utilizadas en el modelo econométrico.

Variable	Fuente	Definición
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (kt)</b>	Banco Mundial	Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

<b>PIB (US\$ a precios constantes de 2000)</b>	Banco Mundial	El PIB a precio de comprador es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales. Los datos se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2000. Las cifras en dólares del PIB se obtuvieron convirtiendo los valores en monedas locales utilizando los tipos de cambio oficiales del año 2000. Para algunos países donde el tipo de cambio oficial no refleja el tipo efectivamente aplicado a las transacciones en divisas, se utiliza un factor de conversión alternativo.
<b>Población, total</b>	Banco Mundial	Se refiere al total de la población.
<b>Consumo de energía eléctrica (kWh)</b>	Banco Mundial	El consumo de energía eléctrica mide la producción de las centrales eléctricas y de las plantas de cogeneración menos las pérdidas ocurridas en la transmisión, distribución y transformación y el consumo propio de las plantas de cogeneración.
<b>Industrialización (US\$ a precios constantes de 2000)</b>	Banco Mundial	Valor agregado en la industria manufacturera, está expresado en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2000. El término industrias manufactureras se refiere a las industrias pertenecientes a las divisiones 15 a 37 de la CIIU <sup>21</sup> . El valor agregado es la producción neta de un sector después de sumar todos los productos y restar los insumos intermedios. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales. El origen del valor agregado de determina a partir de la CIIU, Revisión 3.
<b>Proporción de área deforestada sobre la superficie total</b>	Construida a partir de la variable proporción de superficie cubierta por bosques de la CEPAL	
<b>IC Extrarregional Ingresos Altos</b>	Construida con datos del Banco Mundial	
<b>IC Intrarregional América Latina</b>	Construida con datos del Banco Mundial	

<sup>21</sup> Estas divisiones están especificadas más adelante en la Tabla 4 del presente anexo.



**Tabla 3.** Porcentaje de importaciones y exportaciones de mercaderías desde y hacia países de ingresos altos y países de América Latina y el Caribe.

País	Promedio de Mercaderías Exportadas hacia LATAM	Promedio de Mercaderías Exportadas hacia Economías de Ingresos Altos	Promedio de Mercaderías Importadas desde LATAM	Promedio de Mercaderías Importadas desde Economías de Ingresos Altos
<b>BOL</b>	49.48%	55.21%	41.16%	47.78%
<b>BRA</b>	18.81%	68.77%	15.11%	63.7%
<b>CHL</b>	18.65%	51.54%	29.06%	66.28%
<b>COL</b>	25.94%	66.75%	24.05%	70.74%
<b>CRI</b>	20.67%	62.29%	23.57%	68.4%
<b>ECU</b>	23.51%	60.46%	32.33%	71.8%
<b>GTM</b>	37.44%	65.64%	29.58%	59.04%
<b>HND</b>	20.48%	60.37%	30.07%	72.19%
<b>MEX</b>	4.3%	88.47%	3.14%	94.01%
<b>NIC</b>	34.01%	42.41%	47.57%	62.22%
<b>PAN</b>	20.55%	57.56%	23.19%	72.95%
<b>PER</b>	14.36%	61.63%	28.44%	72.24%
<b>SLV</b>	40.46%	59.37%	35.48%	58.48%
<b>URY</b>	44.35%	39.36%	49.13%	42.43%
<b>VEN</b>	15.05%	65.99%	24.65%	67.89%
<b>Total general</b>	25.87%	60.39%	29.1%	66.01%

**Tabla 4.** Clasificación Industrial Internacional Uniforme de las actividades económicas utilizadas por el Banco Mundial para la variable industrialización. Tomada de United Nations Statistics Division.

<b>D. Industrias manufactureras</b>	
<b>15</b>	Elaboración de productos alimenticios y bebidas
<b>16</b>	Elaboración de productos de tabaco
<b>17</b>	Fabricación de productos textiles
<b>18</b>	Fabricación de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles
<b>19</b>	Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionaría, y calzado
<b>20</b>	Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto

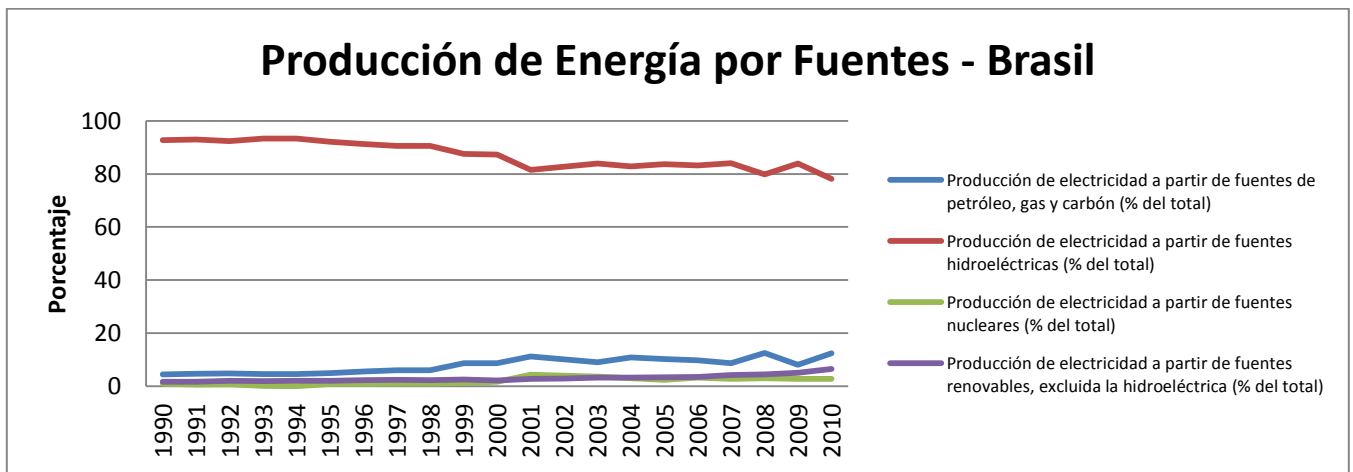
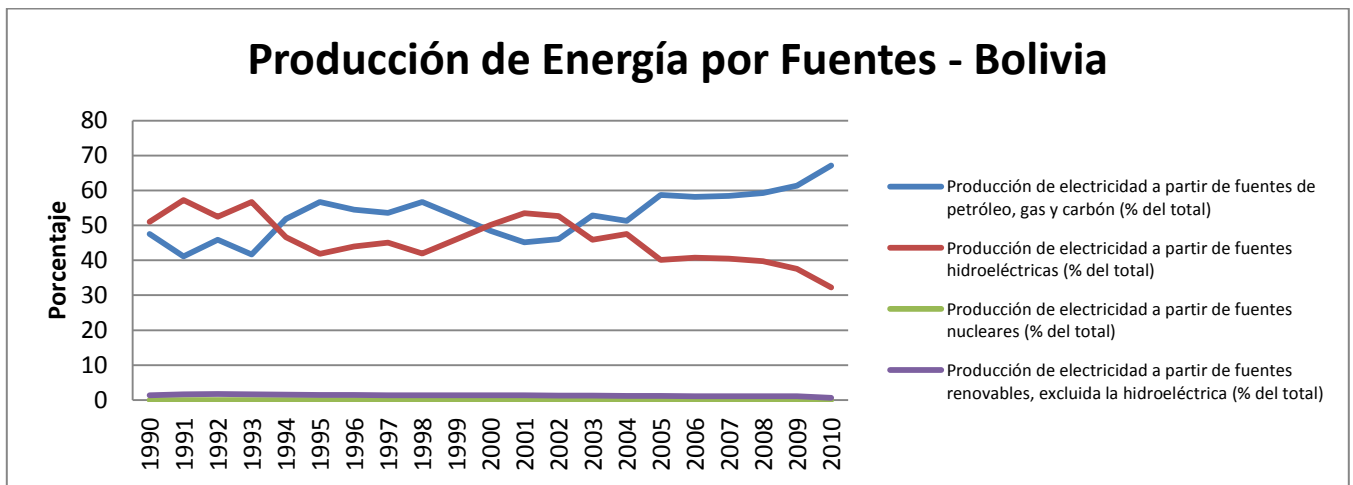
	muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables
<b>21</b>	Fabricación de papel y de productos de papel
<b>22</b>	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones
<b>23</b>	Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear
<b>24</b>	Fabricación de sustancias y productos químicos
<b>25</b>	Fabricación de productos de caucho y plástico
<b>26</b>	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
<b>27</b>	Fabricación de metales comunes
<b>28</b>	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
<b>29</b>	Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.
<b>30</b>	Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática
<b>31</b>	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p.
<b>32</b>	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones
<b>33</b>	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes
<b>34</b>	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
<b>35</b>	Fabricación de otros tipos de equipo de transporte
<b>36</b>	Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p.
<b>37</b>	Reciclamiento

**Tabla 5.** Clasificación Tecnológica de Manufacturas. Tomada de Lall (2000).

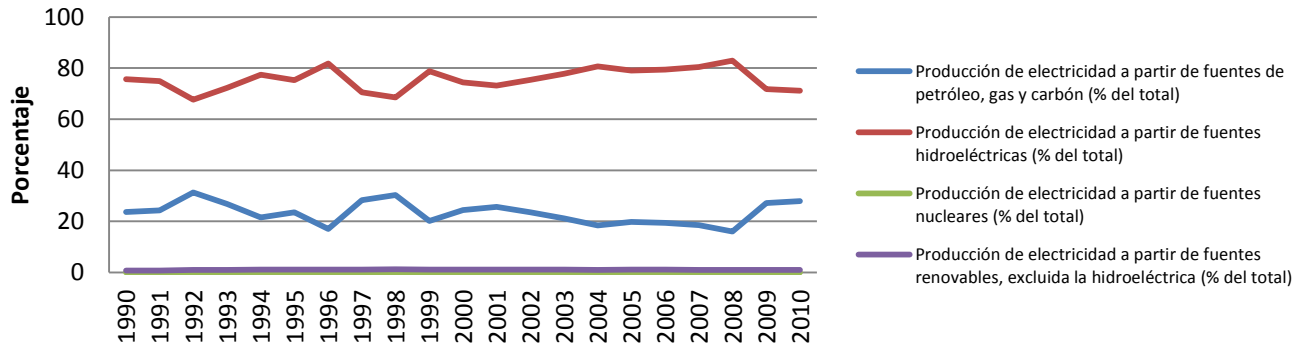
<b>Clasificación</b>	<b>Ejemplos</b>
<b><u>Productos Primarios</u></b>	
Fruta fresca, carne, arroz, cacao, té, café, madera, carbón, petróleo crudo, gas	
<b><u>Productos Manufacturados</u></b>	
<b>Manufacturas basadas en recursos naturales</b>	
<b>Basadas en agricultura</b>	Comidas preparadas, productos de madera, aceites vegetales, bebidas
<b>Basadas en minerales</b>	Minerales concentrados, productos de petróleo/caucho, cemento, piedras preciosas extraídas, vidrio
<b>Manufacturas con contenido de tecnología bajo</b>	
<b>Grupo moda</b>	Textiles fabricados, ropa, sombreros, calzado, manufacturas de cuero
<b>Otras</b>	Cerámica, estructuras o partes de metal simples, muebles, joyería, juguetes, productos de plástico
<b>Manufacturas con contenido de tecnología medio</b>	
<b>Automotriz</b>	Vehículos de pasajeros y partes, vehículos comerciales, motocicletas y partes
<b>Industrias procesadas</b>	Fibras sintéticas, químicos y pinturas, fertilizantes,

	plásticos, hierro, tubos/pipetas
<b>Industrias de ingeniería</b>	Motores, máquinas, maquinaria industrial, locomotoras, barcos
<b>Manufacturas con contenido de tecnología alta</b>	
<b>Electrodomésticos y equipos eléctricos avanzados</b>	Procesadores de datos, equipo de telecomunicaciones, televisores, turbinas, equipo generador de energía
<b>Otros</b>	Farmacéuticos, aeroespacial, instrumentos de medición, cámaras
<b>Otras Transacciones</b>	
Electricidad, transacciones especiales, oro, arte, mascotas	

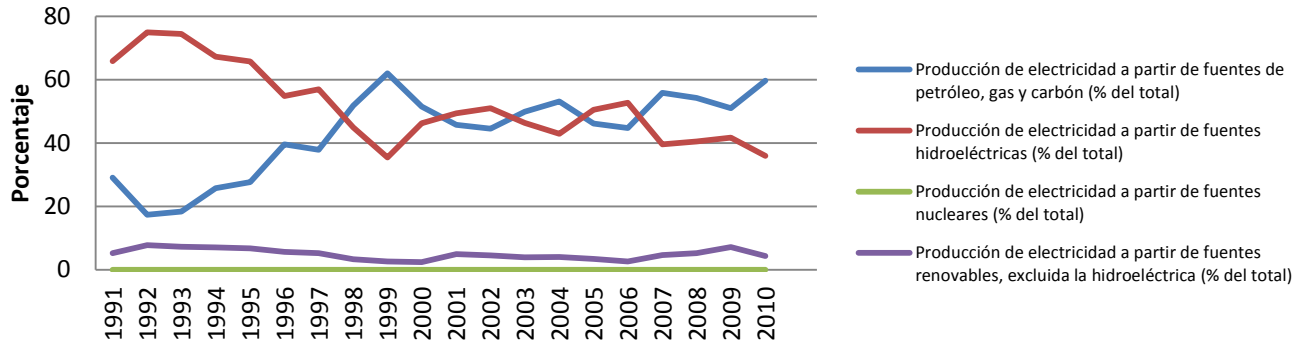
**Tabla 6.** Producción de Energía Eléctrica por Fuentes



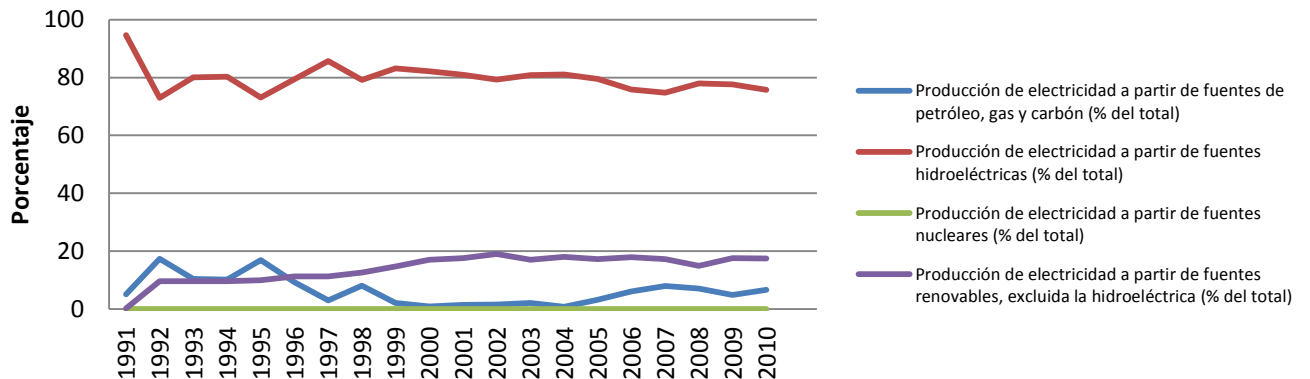
## Producción de Energía por Fuentes - Colombia



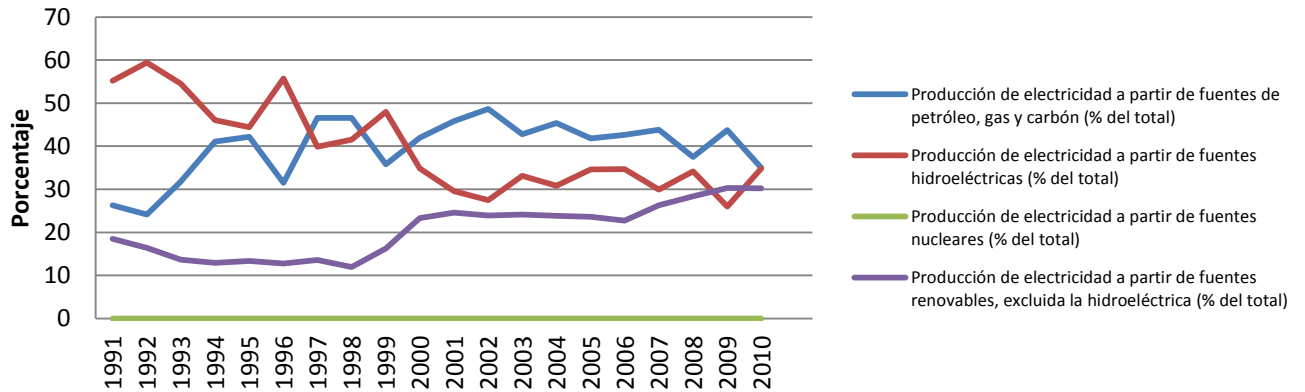
## Producción de Energía por Fuentes - Chile



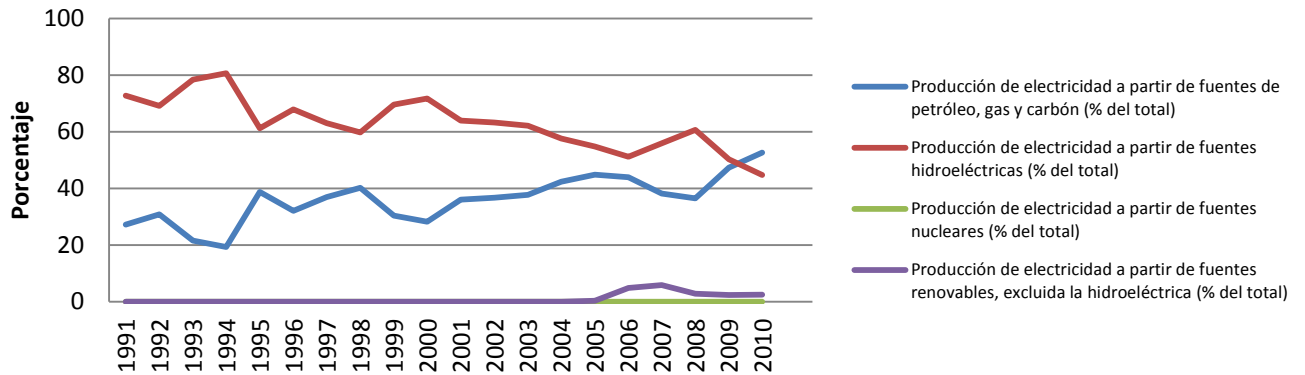
## Producción de Energía por Fuentes - Costa Rica



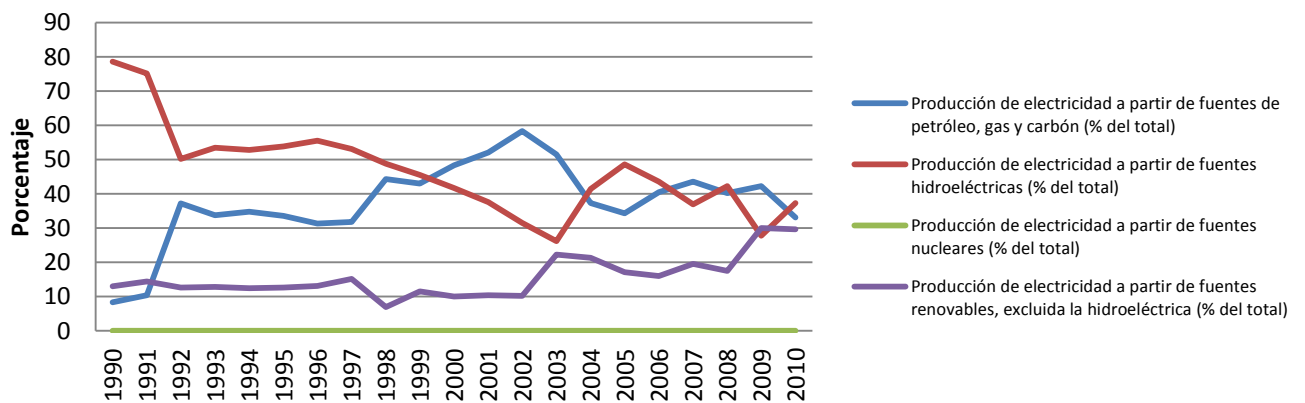
## Producción de Energía por Fuentes - El Salvador



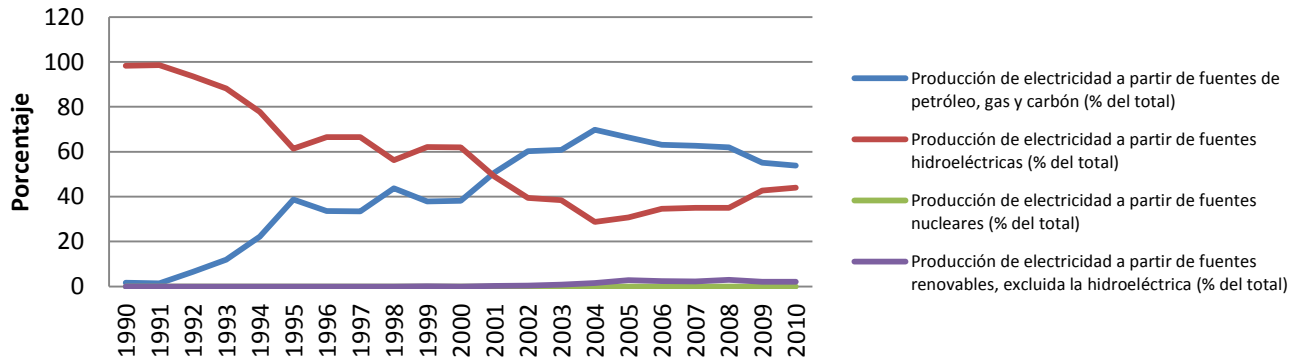
## Producción de Energía por Fuentes - Ecuador



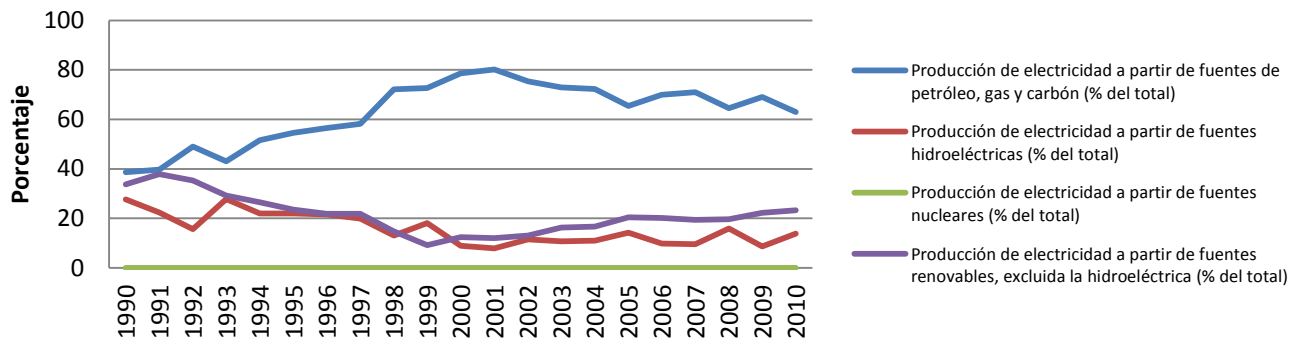
## Producción de Energía por Fuentes - Guatemala



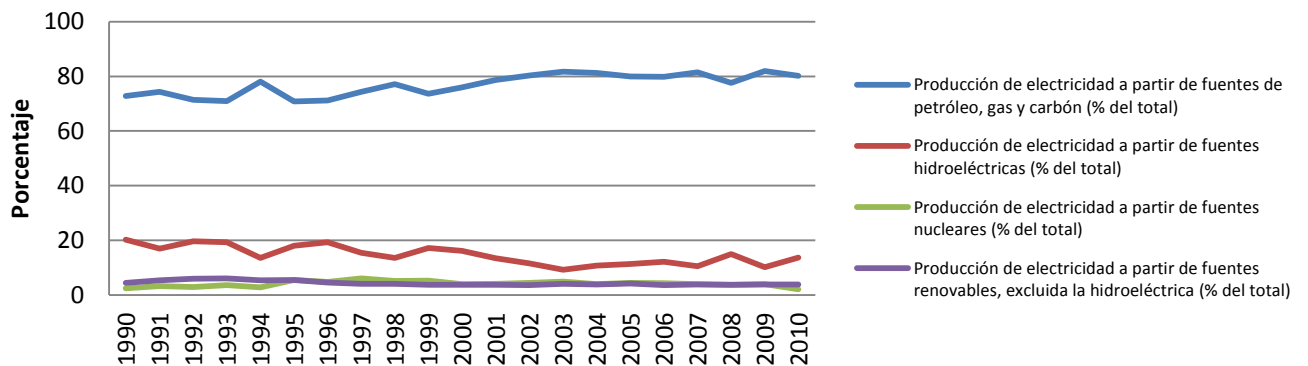
## Producción de Energía por Fuentes - Honduras



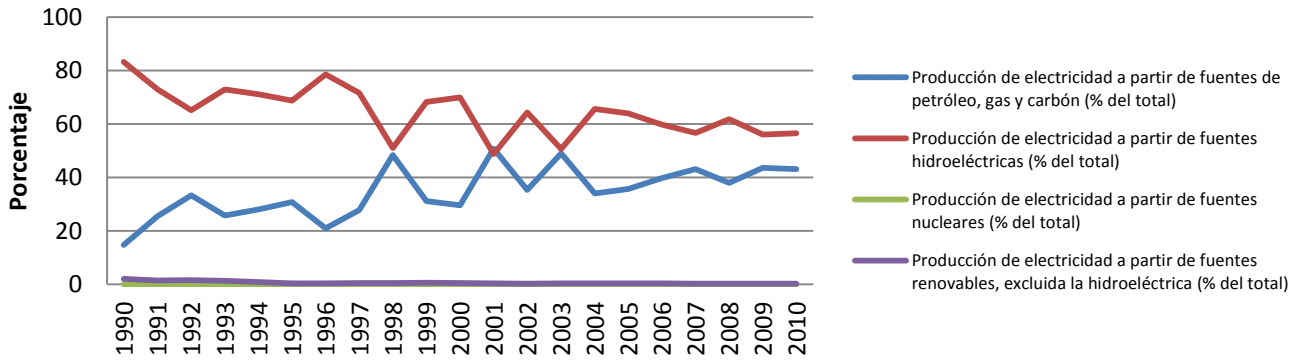
## Producción de Energía por Fuentes - Nicaragua



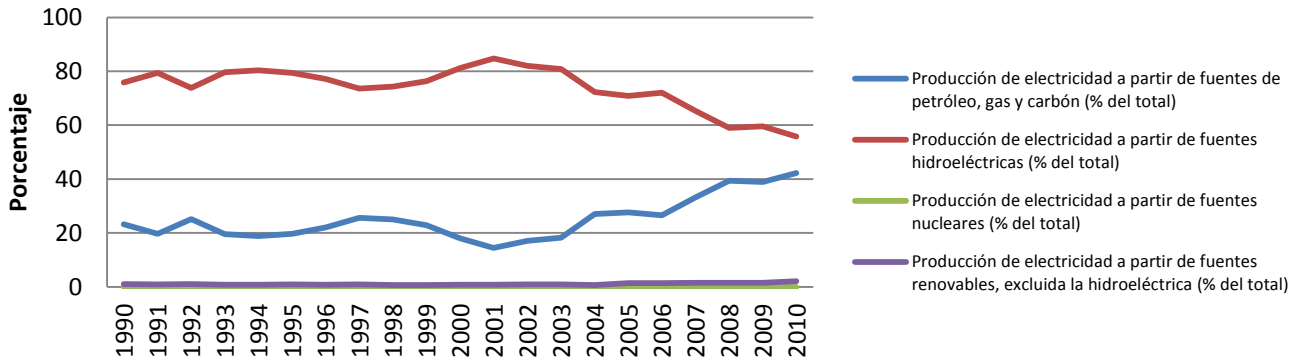
## Producción de Energía por Fuentes - México



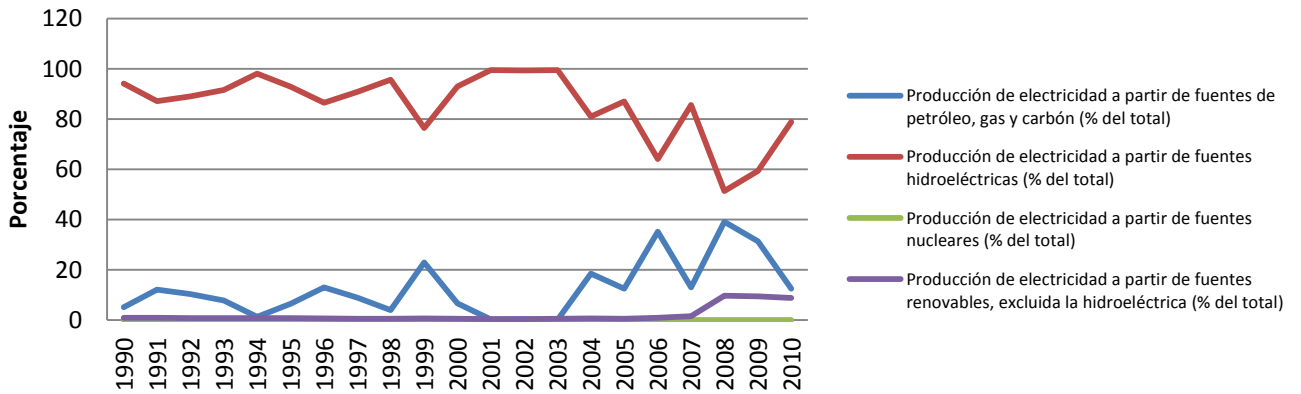
## Producción de Energía por Fuentes - Panamá

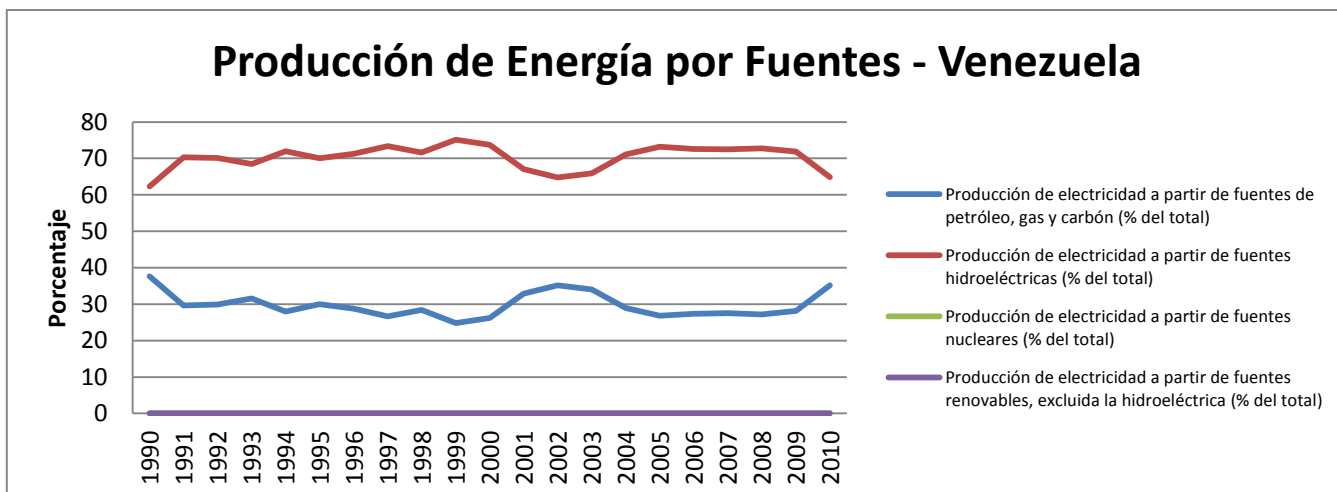


## Producción de Energía por Fuentes - Perú



## Producción de Energía por Fuentes - Uruguay





## Anexo 2. Estadísticas descriptivas, Test de raíz unitaria y Test de Hausman

**Tabla 1.** Estadísticas Descriptivas

Variable		Media	Des. Std.	Min	Max	Observations
<b>logco2</b>	overall	9.940613	1.561331	7.603823	13.06356	N = 315
	between		1.591134	8.148878	12.85607	n = 15
	within		0.2594238	9.232792	10.60851	T = 21
<b>logpib</b>	overall	24.39967	1.539064	22.0768	27.72337	N = 315
	between		1.573556	22.37982	27.38298	n = 15
	within		0.2243903	23.80928	24.9928	T = 21
<b>logpib2</b>	overall	597.7053	76.6689	487.3852	768.5853	N = 315
	between		78.43265	500.9052	749.8591	n = 15
	within		10.87503	568.085	625.5675	T = 21
<b>logpob</b>	overall	16.38643	1.185911	14.7265	19.08959	N = 315
	between		1.220792	14.92842	18.96981	n = 15
	within		0.1047656	16.15109	16.62928	T = 21
<b>logconkw</b>	overall	23.23452	1.565736	20.96307	26.86466	N = 315
	between		1.585154	21.30619	26.47726	n = 15
	within		0.3144204	22.44503	23.92568	T = 21
<b>def</b>	overall	-41.12698	16.69964	-71.7	-4.3	N = 315
	between		16.99481	-64.58095	-6.780952	n = 15
	within		2.907038	-55.43174	-29.13175	T = 21
<b>logindreal</b>	overall	20.16402	1.958507	11.58626	24.52569	N = 308
	between		1.420312	17.44773	22.94974	n = 15
	within		1.382457	12.67145	23.37837	T-bar = 20.53
<b>IC_hincome</b>	overall	62.74613	12.85736	31.81075	95.02543	N = 315



	between		11.27913	40.87457	91.14892	n = 15
	within		6.796783	31.60592	77.43869	T = 21
<b>IC_latam</b>	overall	27.51434	12.53556	2.315349	62.5386	N = 315
	between		11.83506	3.702187	46.83429	n = 15
	within		5.098337	13.1404	44.57421	T = 21

**Tabla 2.** Test de raíz unitaria de Im-Pesaran-Shin

<b>Ho: Todos los paneles tiene raíz unitaria</b>			
<b>Ha: Algunos paneles son estacionarios</b>			
<b>Variable</b>	<b>p-value</b>	<b>W-t-bar</b>	<b>Tendencia</b>
<b>logco2</b>	0.0702	-1.4743	Si
<b>logpib</b>	0.019	-2.0758	Si
<b>logpib2</b>	0.024	-1.9776	Si
<b>logpob</b>	0.00	-4.8571	Si
<b>logconkw</b>	0.0631	-1.2818	Si
<b>def</b>	0.6237	0.3153	Si
<b>logindreal</b>	0.00	-4.066	Si
<b>IC_hincome</b>	0.0283	-1.9057	Si
<b>IC_latam</b>	0.0228	-1.9985	Si

El test muestra que todas las variables a excepción de la deforestación rechazan la hipótesis nula de raíz unitaria en todos los paneles a un 10% de significancia. Por lo anterior, se realiza el test de Fisher basado en la prueba ADF con el fin de descartar o ratificar la existencia de raíz unitaria en todos los paneles de la variable deforestación.

**Tabla 3.** Test de Fisher basado en el test ADF

<b>Ho: Todos los paneles tienen raíz unitaria</b>			
<b>Ha: Al menos un panel es estacionario</b>			
<b>Variable</b>	<b>p-value</b>	<b>Chi-cuadrado inversa</b>	<b>Tendencia</b>
<b>def</b>	0.0008	60.5365	Si

El test muestra que la variable deforestación tiene al menos un panel que es estacionario a un 1% de significancia.

**Tabla 4.** Test de Hausman

---

**Ho: Diferencia en los coeficientes  
no es sistemática ni significativa**

---

$$\chi^2(8) = (b-B)'[(V_b - V_B)^{-1}](b-B)$$
$$\chi^2(8) = 11.18$$
$$\text{Prob} > \chi^2 = 0.1919$$

---

El test de Hausman por su parte no rechaza la hipótesis nula de diferencia sistemática en los coeficientes del modelo de efectos fijos y aleatorios. Lo anterior, permite elegir el modelo más conveniente y que teóricamente se ajuste más a los datos. En este caso, se continúa con el modelo de efectos fijos por simplicidad pues este no requiere de supuestos de distribución sobre la eficiencia técnica y además, como se mencionó antes, no hay motivos para pensar que la eficiencia técnica sea aleatoria.