



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **ÁREA ADMINISTRATIVA**

TITULACIÓN DE ECONOMISTA

**Generación de energía eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub>: una aplicación para Ecuador periodo 1971-2011**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

**AUTORA:** Ordóñez Suárez, Guisela de los Ángeles

**DIRECTORA:** Massa Sánchez, Priscilla, MSc.

Loja-Ecuador

2013

## CERTIFICACIÓN

Doctora.

Tania Paola Torres Gutierrez.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE CARRERA.

C E R T I F I C O:

Que el presente trabajo, denominado: “**Generación de energía eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub>: una aplicación para Ecuador periodo 1971-2011**”, realizado por el profesional en formación: Ordóñez Suárez Guisela de los Angeles; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, octubre 2013.

f).....

**MSc. Priscilla Massa Sanchez**

**DIRECTORA DE TESIS**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Ordóñez Suárez Guisela de los Ángeles**, declaro ser autora del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f).....

**Ordóñez Suárez Guisela de los Ángeles**

**1104344575**

## DEDICATORIA

A mi Padre Celestial

A mis padres

A mis hermanos

y a mi hijo

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento sincero a Dios por ser la fuente de mi sabiduría, a mis padres: Edgar y Marlene por ser mi ejemplo y fortaleza, a mis hermanos: Jenny, Diana, María, Silvana, Darwin y Ricardo por su amor, cuidado y consejos brindados, a mis sobrinos: Rosalía, Samantha, Fernanda, Edgar, Anahí e Hidania por su sonrisa y ternura, a Hugo Javier Eras por su compañía y apoyo, a mi hijo Javier Alejandro por existir con esa inmensa luz que me motiva día a día, a mi amigo Diego Fernando Suárez por ser la luz que alumbra mi camino, a mis familiares y amigos por su aliento.

A mí Directora MSc. Priscilla Massa Sánchez así como también al MSc. Luis Moncada por el apoyo académico necesario para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Finalmente, mi agradecimiento a los docentes de la Titulación de Economía de la Universidad Técnica Particular de Loja por los conocimientos brindados a lo largo de la carrera.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vx
RESUMEN EJECUTIVO .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
Introducción .....	6
1.1. GEI provocados por la generación de energía eléctrica .....	7
1.2. Generación de energía limpia.....	8
1.3. El sector eléctrico en Ecuador .....	10
1.3.1. Antecedentes. ....	10
1.3.2. Comportamiento de la matriz eléctrica.....	11
1.3.2.1. <i>Producción de energía eléctrica.</i> .....	12
1.3.2.2. <i>Demanda de energía eléctrica.</i> .....	14
1.3.2. Objetivos Nacionales.....	15
CAPÍTULO II: EVIDENCIA EMPÍRICA Y DETERMINANTES DE LAS EMISIONES DEL DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> .....	18

Introducción .....	19
2.1. Descripción de las variables .....	20
2.1.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> . .....	21
2.1.2. Patrón de consumo energético (PATROCEN). .....	22
2.1.3. Producto interno bruto. ....	24
2.1.4. Apertura Comercial.....	26
2.2. Relación de las variables.....	29
2.2.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> y PATROCEN. ....	29
2.3. Evaluación del modelo .....	30
2.3.1. Metodología (Modelos Vectoriales Autoregresivos VAR).....	30
2.3.1.1. <i>Funciones de impulso respuesta</i> .....	31
2.3.1.2. <i>Ddescomposición de la varianza del error</i> .....	32
2.3.2. Estimación del modelo.....	32
CAPÍTULO III: VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	34
Introducción .....	35
3.1. Funciones impulso respuesta .....	36
3.1.1. Respuesta de las emisiones de CO <sub>2</sub> frente a shocks en el PATROCEN. .....	36
3.1.2. Respuesta de las emisiones de CO <sub>2</sub> frente a shocks en el PIB.....	37
3.1.3. Respuesta de las emisiones de CO <sub>2</sub> frente a shocks en la Apertura Comercial. ....	39
3.2. Análisis de la descomposición de la varianza del error.....	40
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	42

Introducción .....	43
4.1. Contraste del modelo para Ecuador .....	44
CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	54



## INDICE DE ANEXOS

ANEXOS.....	54
Anexo A. Estimación del modelo VAR .....	54
Anexo B. Especificación del modelo VAR .....	55
Anexo C. Normalidad.....	55
Anexo D. Autocorrelación .....	56
Anexo E. Heteroscedasticidad .....	56
Anexo F. Impulso Respuesta .....	57
Anexo G. Descomposición de la Varianza .....	58

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo de fin de titulación analiza las variables PATROCEN, PIB y Apertura Comercial como determinantes de la generación de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), utilizando los modelos de vectores autoregresivos (VAR) y haciendo énfasis en las diferentes formas de producción de energía eléctrica en Ecuador en el periodo 1971-2011.

Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta la producción de energía eléctrica en base a fuentes renovables las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen, así también a medida que el PIB aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen, mientras que a medida que aumenta la Apertura Comercial las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan.

Esto brinda un importante aporte no solo al cumplimiento de los objetivos y metas planteadas por El Plan Nacional para el Buen Vivir sino que también se impulsa a la diversificación de la matriz eléctrica con el fin de disminuir los impactos negativos generados por el calentamiento global producto de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por el sistema de generación de energía eléctrica implementado en Ecuador.

### **PALABRAS CLAVES:**

Vectores autoregresivos, dióxido de carbono, matriz eléctrica, PIB, Apertura Comercial, calentamiento global

## **ABSTRACT**

This research analyzes to PATROCEN variables, GDP and Trade Liberalization as determinants of the generation of carbon dioxide emissions (CO<sub>2</sub>), using the vector autoregressive models (VAR) and emphasizing the different ways of producing electricity in Ecuador in the period 1971-2011.

The results show that with increasing electricity production based on renewable sources reduce CO<sub>2</sub> emissions, as well as the GDP increases CO<sub>2</sub> emissions decrease, whereas with increasing emissions Trade Liberalization CO<sub>2</sub> increases.

This provides an important contribution not only to the fulfillment of the objectives and goals set by the National Plan for Good Living but also drives the diversification of the energy matrix in order to reduce the negative impacts generated by global warming product CO<sub>2</sub> emissions emitted by the system of power generation implemented in Ecuador.

### **KEYWORDS:**

Vector autoregression, carbon dioxide, energy matrix, GDP, trade liberalization, global warming

## INTRODUCCIÓN

Las relaciones existentes entre las diversas formas de generación de energía eléctrica y las diferentes presiones ambientales, sin duda son complejas. Para cubrir la creciente demanda de energía eléctrica en función del crecimiento económico se requiere de un mayor uso de combustibles fósiles como: petróleo, gas y carbón principales generadores de los gases de efecto invernadero que deterioran el medio ambiente y por ende a los seres vivos. Por ello, la hipótesis planteada es que algunas formas de producción de electricidad emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al ambiente, provocando al mismo tiempo el calentamiento global.

Las preguntas realizadas fueron: ¿qué influencia tiene la generación de energía eléctrica y su diversificación en las emisiones de CO<sub>2</sub>?, ¿cuáles son los determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en base a la evidencia empírica?, ¿cómo se validan los resultados obtenidos en la ejecución del modelo?, ¿cómo se contrasta el modelo VAR para Ecuador?

El principal objetivo de esta investigación es establecer la relación existente entre la producción de energía eléctrica proveniente de recursos renovables y no renovables y las emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador para el periodo 1971-2011.

La metodología básica utilizada se apoya en los modelos de vectores autoregresivos (VAR). Este método consiste en considerar diversas variables endógenas de manera conjunta, las que son explicadas por sus valores rezagados o pasados, y por los valores rezagados de todas las demás variables endógenas en el modelo. Así mismo para efectos de este estudio se analiza las herramientas del modelo que son la función impulso respuesta y descomposición de la varianza.

El estudio determina la existencia de una relación negativa entre PATROCEN y CO<sub>2</sub>, es decir a un aumento de energía proveniente de fuentes renovables, que aumenta el PATROCEN, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>.

De esta forma, la presente investigación aporta con evidencia empírica encaminada al cumplimiento de los objetivos y metas del Plan Nacional para el Buen Vivir, tomando en cuenta la diversificación de la matriz eléctrica.

El primer capítulo de la investigación revisa el marco teórico referencial que explica las consecuencias de producir energía eléctrica en base a recursos no renovables, detalla las diferentes formas de generar energía limpia y describe la diversificación de la matriz eléctrica ecuatoriana.

El segundo capítulo presenta la evidencia empírica que muestra los determinantes de las emisiones de dióxido de carbono, mediante la descripción y análisis del comportamiento de las variables: dióxido de carbono, patrón de consumo energético, producto interno bruto y Apertura Comercial, así como la relación existente entre las mismas.

En el tercer capítulo se realiza una validación y análisis de los resultados tomando en cuenta las herramientas de los modelos de vectores autoregresivos (VAR) como son: las funciones de impulso respuesta y la descomposición de la varianza del error.

En el cuarto capítulo se discute y contrasta los resultados obtenidos por el modelo con la realidad y objetivos ecuatorianos, para llegar a las respectivas conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

## **Introducción**

La energía eléctrica es un recurso básico para la realización de las diferentes actividades que realizan los seres humanos. El desarrollo de nuevos usos, como la implementación de cocinas eléctricas, hace que esté presente en nuestros hábitos y se adapte mejor a las necesidades de las sociedades. Debido a su gran versatilidad por la diversidad de recursos con las que puede producirse la electricidad constituye el eje clave para avanzar hacia un modelo energético más sostenible, basado en la seguridad de suministro, en la eficiencia y en el respeto ambiental.

Pese a los grandes beneficios económicos y sociales que brinda la electricidad, hoy en día existe una gran preocupación ambiental debido a que la forma en que se produce no es sostenible, los combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas utilizados para su generación son finitos y se están agotando a un ritmo acelerado, y por tanto son los principales contribuyentes al deterioro ambiental por la cantidad de gases de efecto invernadero que emiten a la atmósfera provocando el calentamiento global que genera impactos negativos en los seres vivos.

El disminuir o eliminar las formas de generar energía eléctrica que requiere de combustibles fósiles, a través de la implementación de acciones para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, es una de las estrategias de mitigación para combatir las causas del cambio climático. La transformación del modelo energético, empezando por el apoyo a la generación de energías renovables es una de las principales acciones para combatir el deterioro ambiental y construir un futuro sustentable.

Los recursos renovables como el viento, agua, tierra y sol tienen un enorme potencial y no producen daños ambientales. La producción de energía limpia a través de estos recursos es una alternativa real y viable para satisfacer la creciente demanda de electricidad, disminuir en el corto plazo y eliminar en largo los impactos medioambientales provocados por el uso de combustibles fósiles, garantizando un mejor presente y un mejor futuro para la sociedad al transformar su calidad de vida.

Ecuador tiene el privilegio de poseer grandes recursos renovables que aún no han sido explotados completamente por la aún dependencia de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Las plantas térmicas constituyen una gran parte de la matriz eléctrica del país, provocando daños irreparables que tendrán que ser reparados ineludiblemente con la transición energética, es decir con la mayor producción de energía proveniente fuentes renovables.

En los últimos años se han realizado proyectos importantes de generación de electricidad y se prevé una considerable inversión futura en energías renovables para aportar con el objetivo de evitar la contaminación de los gases de efecto invernadero provocados por la producción de las centrales térmicas. El Plan Maestro de Electrificación, El Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013, El Consejo Nacional de Electricidad del Ecuador y la Iniciativa Yasuní-ITT, toman en cuenta los problemas ambientales que genera el sector eléctrico y por ende ayudan con la inversión y planificación de proyectos energético renovables.

### **1.1. Gases de efecto invernadero provocados por la generación de energía eléctrica**

La forma en que se produce y se usa la energía eléctrica hoy en día no es sostenible. Las principales fuentes de combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas, son recursos naturales finitos, y se están agotando a un ritmo acelerado. Además, son los principales contribuyentes al deterioro ambiental por la gran cantidad de gases perjudiciales que emiten a la atmósfera, provocando el calentamiento global, con impactos negativos en los seres vivos.

El deshielo de los polos, el derretimiento de los glaciales, la elevación del nivel del mar, inundaciones más graves y frecuentes, sequías en diversas partes del mundo, incendios que arrasan con bosques y ciudades, aumento de precipitaciones, especies en extinción y mosquitos portadoras de enfermedades que expanden su zona de distribución; son algunas de las consecuencias que dejan muchas actividades de las cuales hoy en día dependemos como la generación de electricidad.

El sector eléctrico es la fuente más importante de generación de gases de efecto invernadero. Los principales gases de efecto invernadero producidos por el sector energético son el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, procedentes de la quema de combustibles fósiles. Así como, el de las minas de carbón y de las instalaciones de hidrocarburos y gas (El Informe de la Energía Renovable, 2011).

El CO<sub>2</sub> comprende más del 50% de los gases de efecto invernadero producidos por actividades humanas, convirtiéndolo en el mayor contribuyente de las alteraciones climáticas. De los cuales el 41% es provocado por el sector eléctrico. El escenario inicial proyecta una duplicación de estas emisiones a lo largo del periodo hasta el 2050, principalmente debido a la dependencia continua y creciente de los combustibles fósiles (International Energy Agency, 2011).



Las centrales de generación en Ecuador están constituidas por hidráulicas, térmicas a gas, térmicas a gas natural, térmicas de combustión interna, térmica a vapor y en una menor cantidad por biomasa, solar y eólica. La generación hidroeléctrica es aquella que utiliza el agua como recurso primario para producir electricidad. La termoeléctrica es aquella que para su producción utiliza combustibles fósiles, diesel 2, fuel oil 6 (Búnker), entre otros combustibles. La biomasa necesita el bagazo de caña, la solar y eólica utilizan para su producción el sol y el viento respectivamente. La poca disponibilidad de la oferta energética de las centrales hidroeléctricas en los períodos de estiaje, ha obligado al funcionamiento de las unidades de generación termoeléctrica de altos costos, sobre todo aquellas que funcionan con petróleo, gas y carbón, es por esto que, su utilización anual ha tenido, en general, un comportamiento creciente.

En los últimos años, y a pesar de que el porcentaje de participación ha disminuido, la mayor parte de la electricidad generada en Ecuador proviene de plantas térmicas que son técnicamente ineficientes, económicamente desfavorables, y ambientalmente contaminantes.

El consumo de toneladas equivalentes de petróleo para generación de electricidad, para el caso de fuel oil en el 2011 fue de 5.629.138,916 barriles de petróleo aproximadamente, lo cual demanda un costo para el Estado de 530.264.885,8872<sup>1</sup> USD sólo en combustible.

La transición hacia un futuro renovable depende y dependerá de todos los que habitamos en el planeta además de aspectos como: el replanteamiento de los sistemas de financiamiento, innovación, políticas realizadas por los gobiernos de turno, control de la contaminación, entre otros aspectos que contribuyan a que la electricidad de hoy y la del futuro sea segura, eficiente y ambientalmente sostenible.

## **1.2. Generación de energía limpia**

La producción de energía limpia es una alternativa real y viable para satisfacer la creciente demanda de electricidad y provocar un menor impacto ambiental a través de la energía derivada del sol, viento, tierra, agua y mar; garantizando no sólo un mejor presente sino también un mejor futuro. La transformación del modelo energético, empezando por el apoyo a la generación de energías renovables, dejando de depender de los combustibles fósiles y acelerando la transición hacia una energía limpia es una de las principales acciones para combatir el deterioro ambiental y construir un futuro sustentable.

---

<sup>1</sup> El precio del barril de petróleo para exportación varía entre 88.5 a 94.2 USD según el Reporte No. 56 del Banco Central del Ecuador.

Dentro de fuentes de energía limpia se encuentra la energía solar, la misma que tiene el más grande potencial técnico y realizable para la generación de electricidad de manera sostenible, puede ser aprovechada para generar electricidad mediante sistemas fotovoltaicos y termoeléctricos (World Wildlife Fund, 2012). Una desventaja obvia de la energía solar es que su suministro es intermitente. Las celdas fotovoltaicas no funcionan en la oscuridad, aunque la mayoría de electricidad se consume en horas de luz del día cuando la luz solar es intensa, y son menos eficaces en días nublados (El Informe de la Energía Renovable, 2011).

Otra fuente importante de energía limpia es la energía eólica. Actualmente esta energía suministra alrededor del 2% de la demanda mundial de electricidad y se calcula que hay suficientes lugares en el mundo con viento aprovechable como para cubrir 35 veces el consumo eléctrico mundial (El Informe de la Energía Renovable, 2011). Este tipo de energía utiliza la energía cinética del aire, es decir, su movimiento, para hacer rotar molinos de viento modernos, en cuyo interior hay un generador eléctrico que convierte el movimiento del aire en electricidad para ser transmitida a la red eléctrica (World Wildlife Fund, 2012). Tiene un efecto muy visible en el paisaje, pero su impacto ambiental es mínimo si se planean adecuadamente. Cuando las turbinas están situadas en tierras de cultivo, casi toda la tierra aún puede utilizarse para la agricultura (El Informe de la Energía Renovable, 2011).

La fuente de energía geotérmica está creciendo en alrededor de un 5% cada año a nivel mundial. Cuando las temperaturas volcánicas son lo suficientemente altas, la energía geotérmica puede utilizarse para generar electricidad y calefacción local. A diferencia de la energía eólica y la energía solar, que son intermitentes, la energía geotérmica proporciona un suministro constante de electricidad (El Informe de la Energía Renovable, 2011). La explotación de los recursos geotérmicos afecta sin duda al ambiente y las poblaciones alrededor de las plantas de generación. El vapor geotérmico o el agua caliente utilizados para generar electricidad contiene compuestos tóxicos, pero los sistemas de bucle cerrado pueden evitar que éstos escapen. Si los sitios son bien elegidos y existen sistemas para controlar las emisiones, estas plantas tienen poco impacto ambiental (Francis, 2006).

La energía hidroeléctrica es la mayor fuente de energía renovable hasta la fecha, proporcionando casi el 15% de energía en todo el mundo. Las plantas hidroeléctricas de gran escala almacenan agua en un embalse detrás de una presa y regulan el flujo de acuerdo con la demanda de electricidad, proporcionando así una fuente de energía relativamente confiable (El Informe de la Energía Renovable, 2011). Puede tener graves impactos ambientales y sociales. Al cambiar el flujo del agua corriente de los ríos, las presas amenazan los ecosistemas de agua dulce y los medios de subsistencia de millones de

personas que dependen de la pesca, humedales y los depósitos regulares de sedimento para la agricultura. Las presas fragmentan los hábitats y el acceso de los peces a sus lugares tradicionales de desove.

Según estudios de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, se puede alcanzar una reducción mundial de 4,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a un ritmo acelerado de crecimiento de instalaciones de generación fotovoltaica, una cantidad equivalente a 190 plantas de generación de carbón de tamaño medio (750MW). Una comparación básica realizada señala que: entre un generador diesel con un sistema fotovoltaico, en promedio, hay una reducción de 1kg/kWh de CO<sub>2</sub> emitido al ambiente. Existen ahorros aún mayores cuando se considera el reemplazo de lámparas de queroseno para iluminación, resultando en promedios de 25 kg/kWh (Chuquin & Márquez, 2011).

De esta forma, se evidencia que los recursos renovables tienen el potencial para satisfacer las necesidades de electricidad del mundo entero. Son de fácil acceso y bajo costo; permiten transformar la calidad de vida y mejorar las perspectivas económicas de los seres humanos, sin necesidad de causar daño a la tierra buscando carbón, a los mares buscando gas o a los desiertos buscando petróleo.

### **1.3. El sector eléctrico en Ecuador**

Sin duda Ecuador es uno de los países más ricos del mundo debido a que cuenta con una ubicación privilegiada en la zona tropical del planeta lo cual le permite contar con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, entre los que se destacan el solar, el hídrico, el eólico y el petróleo por el gran potencial que presentan para la generación de electricidad.

#### **1.3.1. Antecedentes.**

El gran desarrollo y transformación que experimentó el sector eléctrico en las décadas de los 70s y 80s, bajo la gestión e impulso del Instituto Ecuatoriano de Electrificación, se vio debilitado en los 90s debido al cierre en el acceso a las fuentes de recursos financieros que tenía el sector eléctrico. Este problema provocó severos racionamientos en los años 1995 y 1996, que dieron paso a la expedición de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico en 1996, modelada al estilo de algunos países de Sudamérica, con un enfoque en el desarrollo privado.

En 1999 empezó un modelo empresarial basado en la segmentación de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, y un modelo comercial marginalista, donde la planificación de la expansión de la generación, estaría definida por las señales de mercado.

Al 2008, el modelo culmina su vigencia debido a la alta inversión requerida por los grandes proyectos hidroeléctricos, que llevaban consigo un alto riesgo en la recuperación de las inversiones a largo plazo, el cual no pudo ser afrontado por los actores privados.

La severa sequía, la falta de nueva generación eléctrica a corto plazo, el crecimiento de la demanda, configurado por un agotamiento de las reservas del sistema y la alta dependencia de la energía importada desde Colombia; provocó que el país vuelva a sufrir racionamientos de energía por varios hechos coincidentes durante el 2009.

Sin embargo, esto permitió identificar y reconocer los graves problemas estructurales, metodológicos, de normativa y financiamiento, derivados, entre otros factores, de la falta de una planificación integral donde todos los sectores y objetivos del País se encuentren articulados, así como a la sostenida falta de inversión por más de 20 años.

Actualmente, el Estado, a través de las distintas instituciones relacionadas con el sector, ha retomado la planificación en el corto, mediano y largo plazo, sobre la base de los criterios de soberanía y eficiencia energética, establecidos en la Constitución y en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013<sup>2</sup>. Y de esta forma, el desarrollo energético se ha convertido en una de las principales prioridades del País.

### **1.3.2. Comportamiento de la matriz eléctrica.**

El sector energético ecuatoriano se ha caracterizado por un crecimiento elevado y constante en términos de oferta y demanda de energía eléctrica (Falconí, 2002). A continuación se muestra el comportamiento de los principales indicadores del sector eléctrico ecuatoriano en las etapas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en el periodo 1971-2011. La generación y demanda del sistema eléctrico ha sido variable y depende principalmente de la disponibilidad de recursos tanto renovables como no renovables que posea el país.

---

<sup>2</sup> Es el instrumento del Gobierno Nacional para articular las políticas públicas con la gestión y la inversión pública, cuyo cumplimiento permitirá consolidar el cambio que los ciudadanos y ciudadanas ecuatorianos con el país que anhelamos para el Buen Vivir.

### **1.3.2.1. Producción de energía eléctrica.**

En la década de los 70s y 80s el recurso hídrico fue bien aprovechado para la generación de electricidad, ya que el Gobierno impulsó varios proyectos significativos como las centrales hidroeléctricas de Paute en 1976 y Agoyán en 1982, así como varias pequeñas centrales hidroeléctricas, sin embargo la producción de centrales térmicas era mayor que la producción de centrales hidroeléctricas. En la década de los 90s la producción de energía térmica superó a la producción de energía hidroeléctrica por la declinación en inversiones hacia proyectos hidroeléctricos derivada de la limitación al acceso financiero, ocasionado que se incurra en una generación ambientalmente más dañina (en especial por la emisión de GEI) y económicamente más costosa. Ya desde la década del 2000 hasta la actualidad, la generación proveniente de fuentes renovables es mayor, en una mínima proporción, a la generación proveniente de fuentes no renovables, gracias a la incorporación de centrales hidroeléctricas, biomasa, eólicas y solares. La generación termoeléctrica y la importación resultan más costosas que la generación local de fuentes renovables

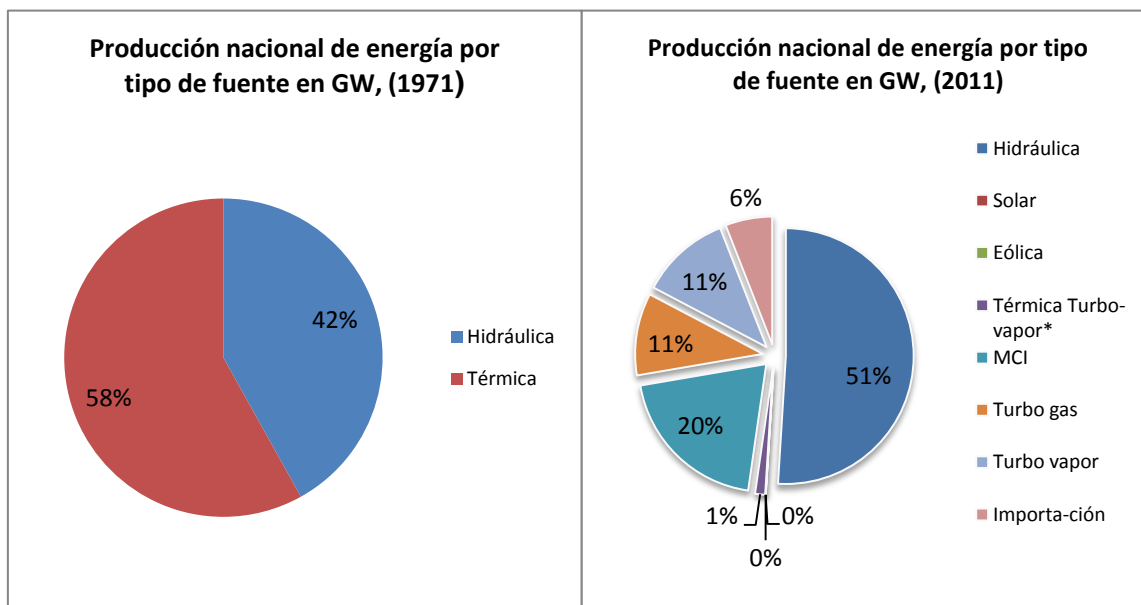
En el año de 1971 la producción total de energía eléctrica fue de 1050,00 GW/h. La energía termoeléctrica en ese mismo año aportó en un mayor porcentaje con un 58.10% (610,00 GW/h), el 41,9% restante (440,00 GW/h) pertenece a las centrales hidroeléctricas.

El sistema interconectado nacional (SIN) no contaba con el aporte de ningún tipo de energía renovable hasta el 2003, ya desde el 2004 la matriz eléctrica incorporó a la energía proveniente de la biomasa (energía turbo-vapor), convirtiéndose así en la primera energía renovable con la que contaba el sector eléctrico, sin embargo su producción era mínima (de 3,24 GW/h), es decir, un aporte del 0,03% del total de energía producida en ese año 12585 GW/h. Cabe mencionar que uno de los proyectos más emblemáticos es de cogeneración con bagazo (residuo de las plantaciones de caña) promovido y financiado con el MDL por la empresa azucarera San Carlos (Castro, 2011).

En el 2005 se incorporó también la producción de energía solar con la instalación de paneles solares fotovoltaicos, las mismas que empezaron con una producción de 0,01 GW/h ese año, es decir, una participación muy escasa de 0,0001% del total de energía producida 13404,02 GW/h.

En el 2007 inicia la producción de energía eólica con proyectos internacionales de apoyo al desarrollo en localidades remotas, y la instalación de turbinas eólicas en San Cristóbal, Galápagos. La producción empezó con un 0,96 GW/h, una participación de 0,01% del total de energía producida en ese año 17336,65 GW/h.

Para el año 2011 la producción total de energía eléctrica fue de 21.838,73 GW/h. El aporte de la energía termoeléctrica es de 41.8% (9.129,45 GW/h), de la hidroeléctrica es de 50,9% (11133.09 GW/h), en tanto que el 1,29% (281.6 GW/h) corresponde a la energía renovable no convencional (biomasa, solar y eólica). Adicionalmente, la participación de las interconexiones eléctricas con Colombia y Perú es del 5,93% (1294.59 GW/h), que corresponde a la energía importada.



\*Nota: Se refiere a la energía obtenida de la Biomasa (Bagazo de Caña utilizado por las centrales de las empresas azucareras)

**Figura 1: Análisis comparativo de la producción de energía en Ecuador de los años 1971 y 2011 por tipo de fuente en GW/h**

**Fuente:** Banco Mundial (1971) CONELEC (2011) **Elaboración:** Propia

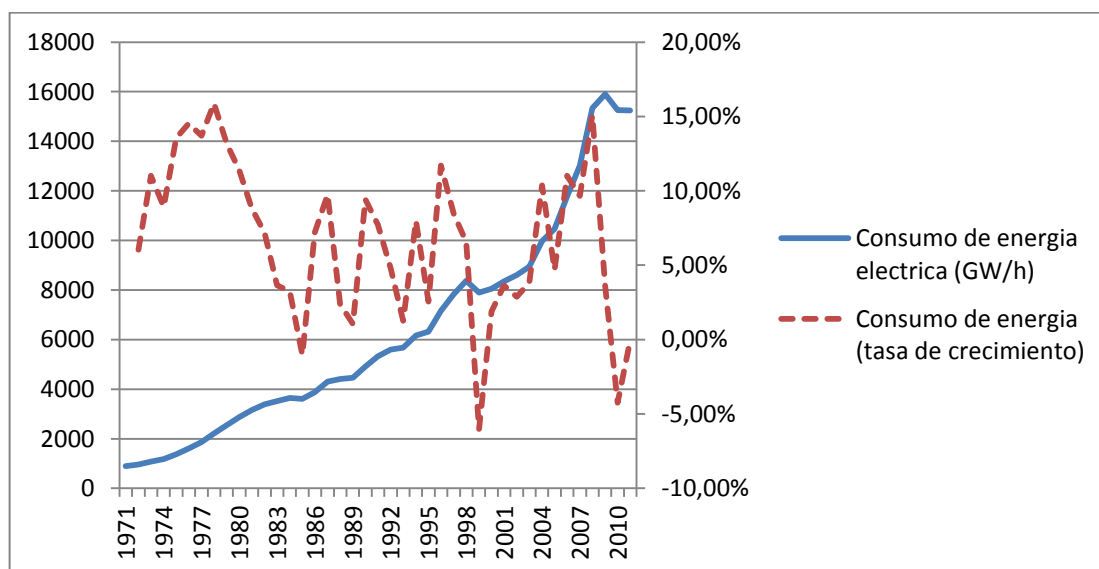
En la figura 1 se muestra la producción de energía nacional por tipo de fuente en GW/h, haciendo énfasis en los años ya descritos anteriormente 1971 y 2011 respectivamente, notando a simple vista la diversificación de la matriz eléctrica que se ha producido durante los diferentes años del periodo tomado.

Durante el período de 1971 a 2011 en Ecuador, en promedio, el 55,41% de la electricidad se generó a base de fuentes hidroeléctricas, el 44,39% se deriva de fuentes térmicas y el 1% corresponde a la energía convencional. La energía proveniente de la biomasa ha sido creciente, su producción hasta el 2011, ha sido de 176,13 GW/h, representa un crecimiento del 0,23%. La energía solar por su parte tiene una producción de 0,02 GW/h, en el año 2010 no se contó con generación solar por ello su crecimiento en promedio ha sido del 0,11%. En lo que respecta a la energía eólica, su participación hasta el 2011 ha sido creciente pero no

significativa de 2,72 GW/h, un crecimiento de 0,09%. Por tanto, Las fuentes de energía renovable todavía no tienen un aporte significativo a la matriz eléctrica.

### 1.3.2.2. Demanda de energía eléctrica.

La demanda de energía eléctrica en Ecuador creció en un 6,68% anual en promedio entre 1971 y 2011. Así, la producción de energía ha pasado de 903 GW/h en 1971 a 15248,8 GW/h en el 2011.



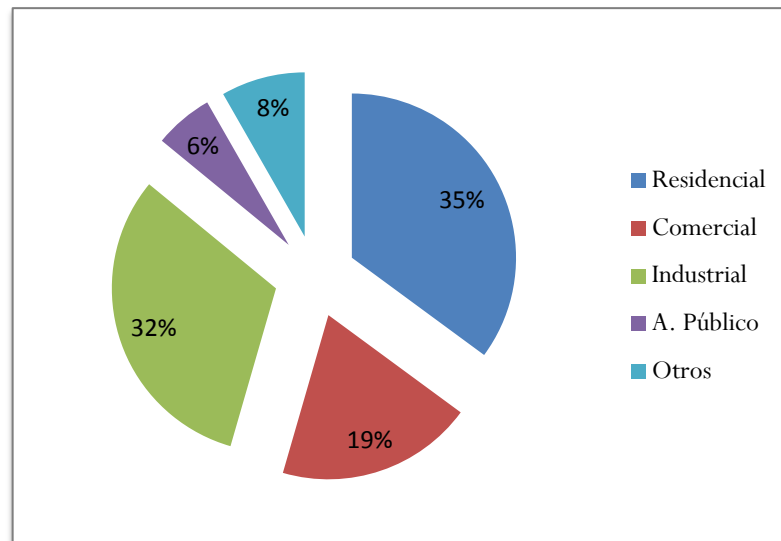
**Figura 2: Demanda de energía eléctrica en Ecuador en GW/h (1971-2011)**

**Fuente:** Banco Mundial (1971-2010) y CONELEC (2011) **Elaboración:** Propia

Si se analiza por décadas, la tasa de crecimiento mayor ocurrió en los 70s, teniendo un crecimiento promedio de 12,10%, periodo en el que empezó la modernización del país y el uso creciente de combustibles fósiles para la generación de energía. Entre 1980 y 1990 el crecimiento de la demanda disminuyó considerablemente a 5,36% y 5,44% en promedio respectivamente. Desde el 2000 en adelante, el crecimiento se mantuvo bajo con una tasa de variación del 5,19% en promedio.

El total de energía demandada se distribuyó de la siguiente manera para el año 2011: 35% (5.350,95 GW/h) para el sector residencial; 19% (2.955,82GWh) para el sector comercial; 32% (4.797,85 GW/h) para el sector industrial; para alumbrado público se entregó el 6% (882,97 GWh); y, el 8% (1.261,22 GWh) para otros consumos. La figura 3 nos muestra que el consumo mayoritario lo tiene el sector residencial y posteriormente el sector industrial, de

hecho son estos los sectores los que determinan las horas pico de consumo de electricidad y de demanda de potencia (CONELEC, 2007).



**Figura 3: Demanda de energía eléctrica a nivel nacional por sectores de consumo (2011)**

*Fuente: CONELEC (2011), Elaboración: Propia*

La modernización del país se ha manifestado en la estructura de su matriz eléctrica. La evolución de la matriz eléctrica muestra que la importancia de la hidroelectricidad crece mientras la energía de centrales termoeléctricas con combustibles fósiles decrece para dar espacio, aunque en poca cantidad, a las energías convencionales como son la biomasa, la eólica y la solar que van en aumento.

### **1.3.3. Objetivos Nacionales.**

Ante los problemas de la matriz eléctrica en Ecuador, la dependencia de pocas fuentes, el incremento de uso de combustibles fósiles y los crecientes costos económicos y ambientales por falta de planificación, el gobierno ha propuesto el cambio de la matriz energética. Y lo ha hecho como una de las estrategias del Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV), para el periodo 2009-2013 (Senplades, 2009).

El objetivo del Plan Nacional para el Buen Vivir es garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable, para ello se ha propuesto políticas en donde se anota la necesidad de “diversificar la matriz eléctrica nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles”, además, estipula que se debe “Impulsar la generación de energía de fuentes renovables o alternativas con enfoque de sostenibilidad social y ambiental”, proponiéndose metas energéticas ambiciosas como:



- ✓ La expansión de la capacidad eléctrica instalada en 1578 MW en el 2014
- ✓ El incremento de la participación de fuentes no convencionales al 6% del total generado en el 2013.

De esta manera el gobierno impulsará la generación de energía de fuentes renovables o alternativas con enfoque de sostenibilidad social y ambiental cumpliendo con el cuidado del medio y de las personas en general.

Se prevé una considerable inversión futura en energías renovables, que permita superar la actual dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica. Entre los principales proyectos en construcción actual o futura se pueden mencionar las plantas hidroeléctricas Coca- Codo Sinclair (1500 MW), Paute Sopladora (487 MW), Toachi-Pilatón (228 MW), Baba (42 MW) y Ocaña (26 MW), numerosas centrales menores, así como dos proyectos eólicos, Villonaco (15 MW) y Galápagos II (5,7 MW). El Plan Maestro de Electrificación 2009 - 2020 ha previsto la realización de estudios y la construcción de tres centrales geotérmicas: Chalupas (282 MW), Tufiño (139 MW) y Chachimbiro (113 MW), y el aprovechamiento de energía solar en comunidades rurales (Vallejo, Larrea, Burbano, & Falconí, 2012).

Se ha estimado que la inversión de capital requerida para la expansión de la capacidad de generación renovable alcanza al menos los 7505 millones de dólares hasta el 2020 (Consejo Nacional de Electricidad, 2011). Estos recursos solo pueden obtenerse de las tarifas de los usuarios (una pequeña proporción), y del acceso al crédito internacional e interno, o de otros fondos de capital (Vallejo, Larrea, Burbano, & Falconí, 2012).

La eficiencia y el buen uso de la energía eléctrica, aplicados en los diferentes sectores de consumo, no implican de ninguna manera sacrificios en la calidad de vida de la población, ni disminución en la productividad del país; por el contrario, la gran mayoría de las veces implican su mejoramiento. Sin embargo, la aplicación de políticas y programas de uso eficiente de la energía, requiere una serie de acciones que comprometen a todos los sectores sociales, incluyendo la concienciación del problema y el reconocimiento de las ventajas que se obtienen de su correcta aplicación (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable; Consejo Nacional de Electricidad; Corporación Eléctrica del Ecuador; Centro Nacional de Control de Energía;, 2012).

En el caso ecuatoriano es demasiado pronto para ver la efectividad y la eficiencia de los mecanismos existentes, dada la aún, baja penetración de las energías renovables.

**CAPÍTULO II: EVIDENCIA EMPÍRICA Y DETERMINANTES DE LAS EMISIONES DE  
DÍOXIDO DE CARBONO CO<sub>2</sub>**

## **Introducción**

Un modelo debe ser construido de acuerdo con la realidad que se pretende describir (León & Marconi, 1999). La necesidad de corregir las externalidades medioambientales ha propiciado la incorporación de variables medioambientales en la elaboración de modelos. No en vano, los modelos ambientales surgen en el momento en que se adquiere conciencia de que la actividad económica genera una demanda creciente de recursos naturales que, a su vez, da lugar a efectos negativos sobre el medio ambiente, los que no pueden ser ignorados. De este modo, el análisis se introduce como una herramienta útil para predecir cuándo las políticas medioambientales contribuyen a la mejora del bienestar ambiental y social.

Para la realización del presente modelo, se cuenta con una línea base proveniente de fuentes primarias, las mismas que permiten validar los resultados obtenidos de acuerdo a la teoría planteada. Es importante el pleno conocimiento del significado, evolución y comportamiento de las diferentes variables haciendo énfasis en los datos atípicos o que sobresalen para determinar el grado de dependencia e implicación de cada una y entre ellas.

Las variables consideradas son: las Emisiones de CO<sub>2</sub>, Patrón de Consumo Energético, Producto Interno Bruto y Apertura Comercial; dentro de la economía ecuatoriana cada una juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo tanto económico, como social y ambiental. Los datos provienen del Consejo Nacional de Electricidad y del Banco Mundial en el periodo 1971-2011.

Dentro de los gases de efecto invernadero se encuentra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el mismo que ha sido de gran preocupación debido a que amenaza con negativas consecuencias económicas, sociales y ambientales principalmente por la creciente generación de electricidad la cual tiene una gran dependencia de fuentes fósiles como el petróleo, gas natural y carbón.

La producción de electricidad tanto de fuentes renovables como de no renovables ha sido muy importante para satisfacer las necesidades que demandan las diferentes actividades de los seres vivos, los mismos que son crecientes al igual que las industrias, el comercio, la urbanización, entre otros sectores de consumo. La variable Patrón de Consumo Energético (PATROCEN), propuesta por Cantos J. y Balsalobre D., es la ratio entre el consumo de energía proveniente de fuentes renovables y el consumo de energía provenientes de fuentes no renovables, para el caso de la presente investigación, en el cálculo de la variable no se

utilizará el consumo sino la producción de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables y no renovables.

Tomar en cuenta al Producto Interno Bruto (PIB) para la realización del modelo VAR es clave. El hecho de que los habitantes de un país requieran de mayor o menor producción de energía depende de que tan productiva o no sea la población, es decir del aumento o disminución del PIB per cápita, de modo que los continuos incrementos que se han producido en la generación energética habrían roto el equilibrio entre las tasas de producción y de absorción natural de emisiones, con consecuencias negativas a nivel global.

La Apertura Comercial es un estímulo no solo para el aumento de la competitividad internacional de la producción sino también para la intensificación de la productividad del país, lo que lleva consigo, de una u otra forma el deterioro ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero que demandan algunas actividades que gracias a la Apertura Comercial, han ido creciendo y desarrollando.

Tras la verificación de la no estacionariedad de las variables, utilizando el software econométrico (E-Views 5), se procedió a realizar la estimación del Modelo de Vectores Autoregresivos para Ecuador en los respectivos periodos, al efectuar las diferentes pruebas del modelo se determina la presencia de normalidad, ausencia de autocorrelación y ausencia de heterocedasticidad. Con ello se dará validez a la teoría planteada a lo largo de la investigación.

En este capítulo se describe la evolución y comportamiento de las variables, así como también la relación existente entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y PATROCEN, y se presenta de manera matemática y econométrica el modelo de vectores autoregresivos VAR.

## **2.1. Descripción de las variables**

Es importante describir la evolución y comportamiento de las variables: Emisiones de CO<sub>2</sub>, Patrón de Consumo Energético, Producto Interno Bruto y Apertura Comercial, utilizadas en la elaboración del modelo de vectores autoregresivos, para conocer el grado de dependencia así como sus implicaciones en el crecimiento y desarrollo económico social y ambiental de Ecuador en el periodo 1971-2011.

### 2.1.1. Emisiones de CO<sub>2</sub>.

El dióxido de carbono, también denominado óxido de carbono, gas carbónico y anhídrido carbónico, es uno de los gases de efecto invernadero que provienen de la quema de combustibles fósiles. Su fórmula molecular es CO<sub>2</sub>. La fuente de datos de esta variable es El Banco Mundial 1971-2011, incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

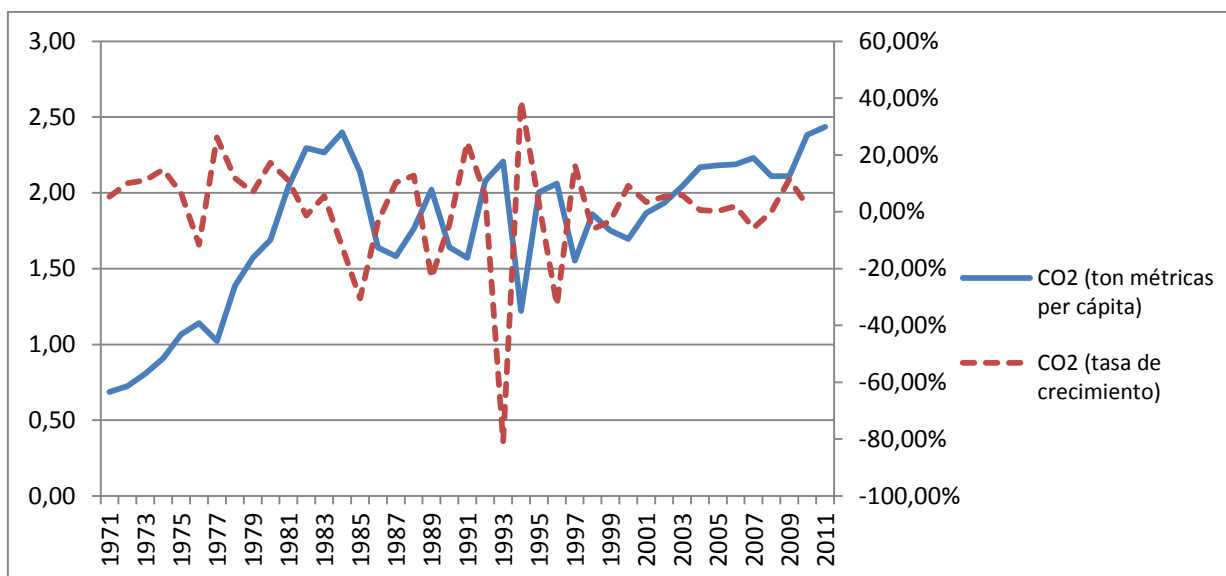
Las emisiones de CO<sub>2</sub> por generación eléctrica tienen un crecimiento muy rápido. Desde el año 1971 al 2011, se han emitido un promedio anual de 1,7 toneladas métricas per cápita de CO<sub>2</sub>, es decir un crecimiento en promedio de 1,58%, incluyendo todas las fuentes de contaminación. Cabe destacar que el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> ha disminuido en un 1,47%, de 5,33% en 1971 a 2,16% en el 2011.

En la década de los 70s las emisiones de CO<sub>2</sub> crecieron en un 9,31% en promedio, debido a la mayor producción de energía eléctrica proveniente de centrales térmicas, en todos los años las tasas de crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> son mayores al 5,33% con excepción del año 1977, en donde la tasa de crecimiento registrada es negativa.

La década de los 80s y 90s registran las menores tasas de crecimiento en promedio del 1,63% y -5,89% respectivamente, sin embargo las emisiones no tenían una tendencia estable porque en esos años se instalaron varias plantas tanto térmicas como hidroeléctricas que provocaron aumentos y reducciones de las emisiones respectivamente, según su porcentaje de generación.

A partir del 2000, el nivel de variación de las emisiones en promedio vuelve a aumentar en un 2,60%, ello se explica por las fuertes sequías que obligaron a cortes programados de electricidad, provocando la intervención mayoritaria de las centrales térmicas y de importaciones de electricidad desde Colombia y Perú. Sin embargo en los años 2005 a 2009 existen tasas de crecimiento muy bajas y negativas debido a la incorporación de varias centrales de recursos renovables como: biomasa, hidroeléctricas, eólicas y solares.

La figura 4 muestra con mayor claridad la tendencia, ascensos y descensos de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); tanto en toneladas métricas per cápita como en tasas de crecimiento.



**Figura 4: Toneladas métricas per cápita de emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador (1971-2011)**

**Fuente:** Banco Mundial (1971-2011) **Elaboración:** Propia

La producción de energía eléctrica del parque eólico San Cristóbal<sup>3</sup>, ha evitado la emisión de 6.521 Ton. CO<sub>2</sub> en los últimos 3 años (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable; Consejo Nacional de Electricidad; Corporación Eléctrica del Ecuador; Centro Nacional de Control de Energía; 2012).

La importante y creciente emisión de CO<sub>2</sub> provocada por la generación de energía eléctrica ha impulsado recientemente la adopción de varias medidas de eficiencia energética y sobre todo la promoción de fuentes energéticas renovables, en especial, en los subsectores eólico y solar fotovoltaico.

### 2.1.2. Patrón de consumo energético (PATROCEN).

La variable PATROCEN tomada del estudio “Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España” realizada por (Cantos & Balsalobré, 2011) en España, acerca a la evidencia de que, en los últimos años se ha acelerado el efecto sustitución (o de desplazamiento energético) en el que las fuentes energéticas renovables han adquirido un mayor peso en el total del consumo energético, para este estudio se utilizará la producción energética como consumo energético.

<sup>3</sup> Primer parque eólico de Ecuador, ubicado en el Archipiélago de Galápagos, en operación desde Octubre de 2007 con una potencia instalada de 2,4 MW y consta de 3 aerogeneradores.

Por lo tanto, PATROCEN se define como la ratio entre la producción energética de fuentes renovables y la producción energética de fuentes convencionales y refleja la evolución del mix energético en un país (Cantos & Balsalobré, 2011). Esto se explica con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{PATROCEN} = \frac{\textit{Producción de electricidad con fuentes renovables}}{\textit{Producción de electricidad con fuentes no renovables}}$$

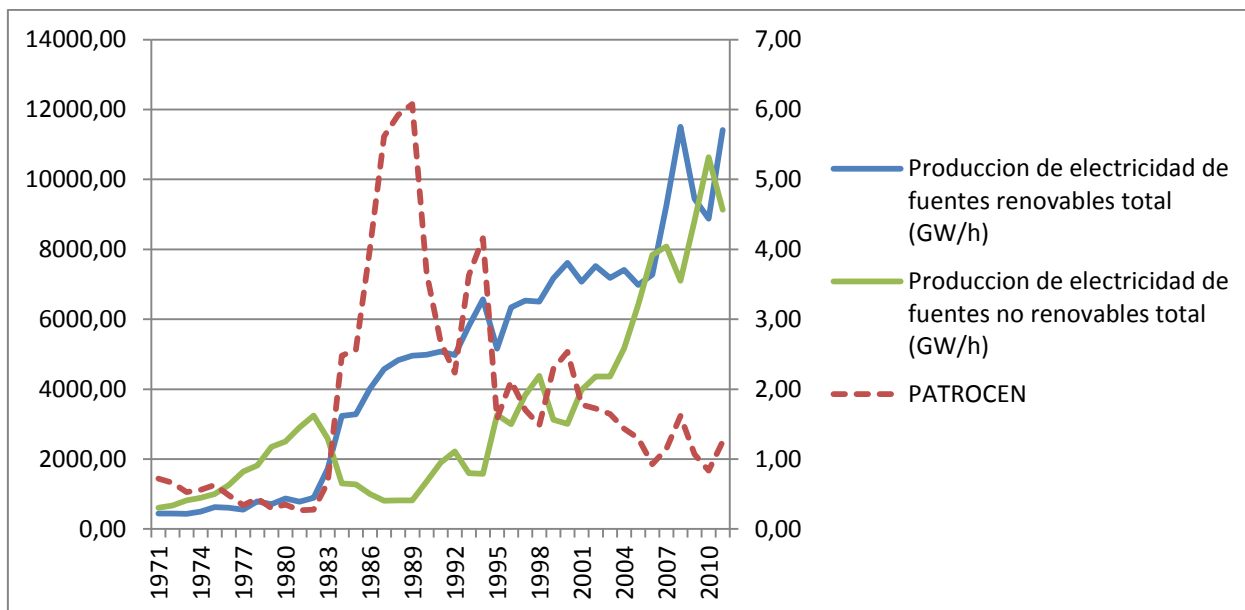
Al aumentar la producción eléctrica de fuentes renovables el PATROCEN también aumentará, teniéndose una relación directa, por otro lado, al aumentar la producción eléctrica de fuentes no renovables el PATROCEN disminuirá teniéndose una relación inversa.

Los datos utilizados para realizar las estimaciones provienen del Banco Mundial (producción de energía eléctrica total y producción de energía eléctrica proveniente de fuentes no renovables (térmica) y renovables (hidroeléctrica), años 1971-2011) y del Consejo Nacional de Electricidad (producción de energía de fuentes renovables (biomasa, eólica, solar) años 2004-2011) El PATROCEN fue calculado con la división entre la producción de electricidad con fuentes renovables y no renovables de la base de datos ya obtenida.

La producción de energía de fuentes renovables ha sido creciente durante los años 1971 al 2011, en promedio un 6%. El año en el que existió una fuerte caída de la producción fue en los años 1995-1996 debido al cierre en el acceso a las fuentes de recursos financieros que tenía el sector eléctrico por medio del Instituto Ecuatoriano de Electrificación, y en el año 2009 en donde las sequías obligaron a las termoeléctricas a involucrarse como parte del suministro que se necesitaba para cubrir la disminución de la producción de centrales hidroeléctricas.

Por otra parte, la producción de energía de fuentes no renovables, disminuyó considerablemente en la década de los 80s, por la introducción de hidroeléctricas que permitieron no solo el aumento en la producción de energía sino también la transición de centrales térmicas por hidroeléctricas. Pero en general su producción promedio del 4% ha sido creciente, menor con respecto a la producción de energía de fuentes renovables.

La tendencia tanto de la producción de energía de fuentes renovables como de las de fuentes no renovables y el PATROCEN se muestra en la figura 5.



**Figura 5: PATROCEN en GW/h (1971-2011)**

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2010) y CONELEC (2004-2011) *Elaboración:* Propia

El PATROCEN es mayor en la década de los 80s, en donde la producción de fuentes renovables es mayor que las no renovables, y menor en los demás años, en donde la producción de energía de fuentes no renovables es mayor a la de fuentes renovables, hasta la actualidad, en donde la variable PATROCEN es menor especialmente por la incorporación de energía limpia.

Es importante además mencionar y describir el comportamiento del PIB y la Apertura Comercial como variables que de una u otra forma, frente a los shocks que se presenten en las mismas, influyen en el comportamiento que adquieren las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 2.1.3. Producto interno bruto.

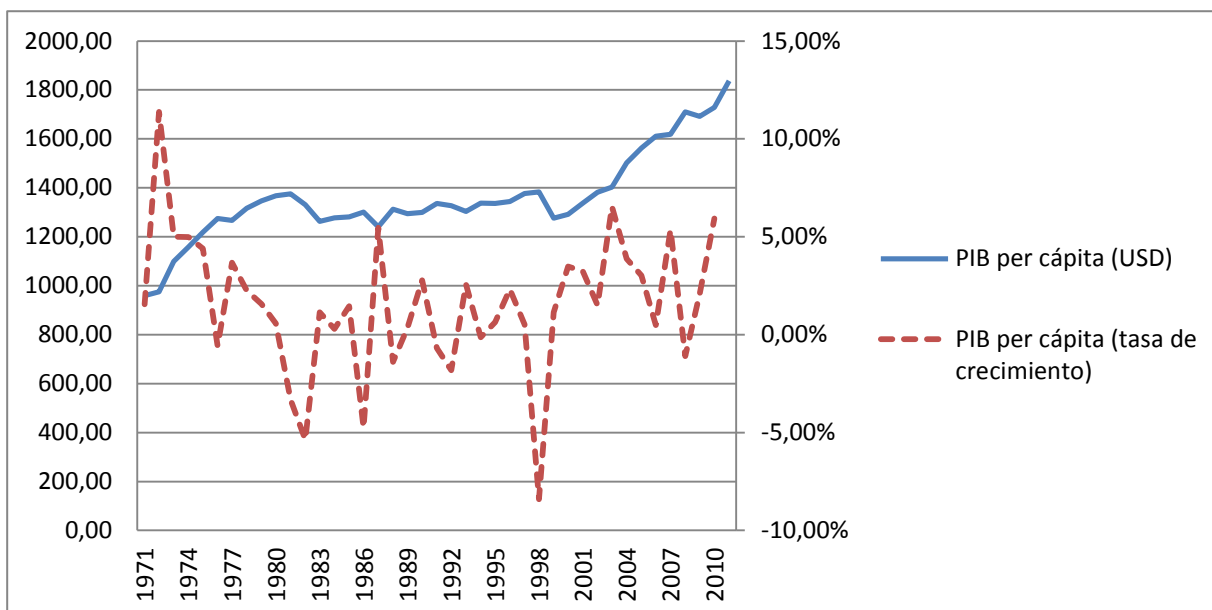
El PIB per cápita es el producto interno bruto dividido por la población a mitad de año. Es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todos los impuestos a los productos, menos todos los subsidios no incluidos en el valor de los productos. Es calculado sin 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 2000. La base de datos proviene de El Banco Mundial (1971-2011)

El PIB per cápita de Ecuador, sufrió una serie de evoluciones y transformaciones que hicieron que su comportamiento sea volátil. Shocks como: crisis internacionales, variaciones



del precio del petróleo, fenómenos naturales, débil institucionalidad, entre otros, impactaron directamente en su crecimiento y marcaron quiebres en esta variable.

La figura 6 muestra que El PIB per cápita ascendió de \$959,72 a \$1837,01 por persona en el periodo 1971-2011, un crecimiento promedio de 1,5%, mientras que la población creció un 2,19% en promedio. La década de los 70s muestra buenos resultados para la economía ecuatoriana, el PIB per cápita tuvo un crecimiento en promedio de 4,08%, siendo 1973 el año que sobresale con \$1099,97 de PIB per cápita, es decir, su crecimiento fue del 11,37%. En las décadas de los 80s y 90s se evidencia estancamientos con crecimientos de -0,44% y -0,19% respectivamente. Cabe destacar que la caída más pronunciada en estos periodos fue en el año 1999 con \$1276,49 por persona y un nivel de variación de -8,41%. Por último, a partir del año 2000, época en la que empezó la dolarización, el crecimiento promedio es del 2.9%, registrando en los años 2004 y 2008 los mayores niveles de crecimiento de la década, \$1501,80 y \$1710,53 por persona, una variación de 6,55% y 5.36% respectivamente.



**Figura 6: PIB per cápita a precios constantes de 2000, Ecuador (1971-2011)**

**Fuente:** Banco Mundial (1971-2011) **Elaboración:** Propia

En los años 70s, Ecuador tuvo un crecimiento sostenible debido al auge del petróleo y del protagonismo que este tenía dentro del pago de las deudas adquiridas en ese entonces. En 1973 se registra el mayor crecimiento de la década debido a que el precio del petróleo en el mercado internacional aumentó considerablemente.

Las décadas de los 80s y 90s son consideradas décadas perdidas en las cuales las tasas de crecimiento del PIB per cápita en promedio son negativas, esto debido a varios acontecimientos que se dieron a lo largo de las décadas como: elevada deuda, disminución de los precios del petróleo, desequilibrio fiscal, presiones inflacionarias, caídas en la producción provocadas por fenómenos naturales y shocks externos como el aumento en las tasas de interés internacionales y deterioro de las relaciones con la comunidad financiera internacional. La gran caída que tuvo el PIB per cápita en 1999 fue producto de la crisis financiera que ocasionó el cierre del 70% del cierre de las instituciones financieras del país.

A partir del año 2000 la economía ecuatoriana se ha logrado consolidar en gran medida, apoyada fuertemente por condiciones externas favorables, como el precio del petróleo, las remesas en divisas por parte de los emigrantes y, en su momento por la construcción del Oleoducto de Crudos Pesados, OCP. El año 2004 fue el de mayor crecimiento del período, esto se debió al incremento significativo del valor agregado petrolero, VAP, a partir de la entrada en operación del OCP. Sin embargo, la carencia de nuevos proyectos de gran escala se tradujo en una reducción del nivel de crecimiento. A pesar de ello, el año 2008 fue de gran actividad económica debido al incremento del precio del petróleo exportado y a una política de fuerte inversión pública (Banco Central del Ecuador, 2010).

La economía ecuatoriana ha presentado un robusto y continuado crecimiento en los últimos años, cultivando y aprovechando su riqueza en recursos gracias a su privilegiada ubicación y a los grandes esfuerzos que se han realizado para pasar de una economía extractivista a una economía del conocimiento y valor agregado.

#### **2.1.4. Apertura Comercial.**

La Apertura Comercial interpretada como la “globalización de la economía”, la “modernización comercial” o como la “mundialización del comercio”; es la capacidad de un país de transar bienes y servicios con el resto del mundo. Es utilizada para medir el grado de apertura de una economía y puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\text{Apertura Comercial} = \frac{\text{Exportaciones} + \text{Importaciones}}{\text{PIB}}$$

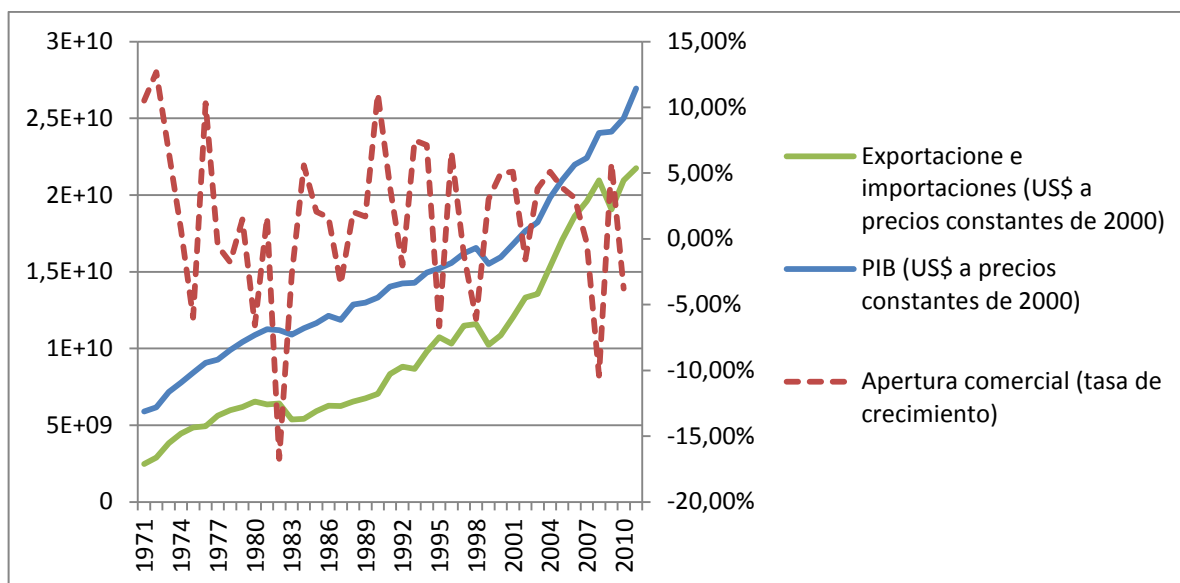
Es decir, es el cociente entre la suma de las exportaciones e importaciones de mercancías de una nación y su PIB; en otras palabras, es una evaluación de la magnitud del comercio exterior respecto al producto del período correspondiente, que permite apreciar cuánto de lo producido y demandado por esa nación tiene su justificación más allá de sus fronteras (Schvarzer, 2004). Los datos se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios

constantes del 2000. La base de datos utilizada para el cálculo de esta variable proviene del Banco Mundial, periodo 1971-2011.

A lo largo de la historia, Ecuador ha cumplido el rol de proveedor de materias primas y el dinamismo de su economía se ha caracterizado por una serie de booms cíclicos de exportación de bienes primarios como cacao (1866-1925), banano (1946-1968) y petróleo (1972-hasta nuestros días). Actualmente, la economía ecuatoriana se puede categorizar como relativamente pequeña, altamente dependiente del comercio internacional y fuertemente inequitativa (Banco Central del Ecuador, 2010).

La volatilidad del PIB sumada a la característica estructural primario exportadora de la economía ecuatoriana ha hecho que, históricamente, el Ecuador atravesase picos y caídas abruptas de la actividad económica. Por tanto, es importante hacer un recuento de los principales shocks que impactaron a la variable durante el período 1971-2011.

Existe un constante crecimiento de la tasa de Apertura Comercial del Ecuador puesto que tanto las exportaciones así como las importaciones crecen a un ritmo más acelerado que el resto de los componentes del PIB. Desde 1971 al 2011 la Apertura Comercial paso de 0,42 a 0,81 es decir un nivel de variación de 48,25%. En los 70s la Apertura Comercial en promedio fue de 0,55; 1971 es el año que se destaca en esta década ya que su crecimiento fue del 10,50%, aquí el PIB creció el 4,39% menos que las exportaciones e importaciones, las mismas que crecieron un 38,11% (aunque las importaciones no tuvieron un crecimiento positivo). En los años 80s, se puede apreciar una caída de la variable, la Apertura Comercial en promedio es de 0,53. En 1983, la tasa de variación es de -16,71%, en este mismo año, tanto el PIB como las exportaciones e importaciones tienen un crecimiento negativo de -2,60% y 31,49% respectivamente. En la década de los 90s la Apertura Comercial mejora, en promedio un 0,64; ello principalmente por el crecimiento del 11,06% que se tuvo en el año 1991, año en el que las exportaciones e importaciones aumentaron un 30,85% más que el PIB, el cual aumento solo el 4,94%. A partir del 2000 el valor de la variable en promedio es de 0,79; a pesar del aumento, el año 2009 registró una disminución del crecimiento en un -10,39%, las exportaciones e importaciones muestran una tasa de variación negativa de -19,35%, mientras que el PIB se muestra positivo, con un crecimiento del 0,36%.



**Figura 7: Apertura Comercial de Ecuador (1971-2011)**

**Fuente:** Banco Mundial (1971-2011) **Elaboración:** Propia

El crecimiento de la Apertura Comercial en la década de los 70s en Ecuador se debe al advenimiento de la exportación petrolera y la aplicación de una política de sustitución de importaciones impulsadas por la Comisión Económica para América Latina CEPAL. En 1971, el crecimiento se debe al aumento de las exportaciones por el boom petrolero, lo que provocó incrementos en el PIB, por otro lado, las importaciones disminuyeron a causa de la imposición de restricciones que lograron efectivamente una cierta industrialización del aparato productivo.

En la década de los 80s se evidencia una caída de la variable, el carácter estático de las restricciones, el reducido tamaño del mercado ecuatoriano y los incumplimientos de sus respectivos compromisos por parte de los países miembros del Grupo Andino, no lograron estimular adecuadamente la competitividad y eficiencia de las industrias, florecidas al amparo de una elevada protección y el incremento del bienestar por los ingresos petroleros (Ramírez, s.f).

Sin embargo, como resultado de una política de Apertura Comercial en la década de los 90s, el crecimiento de las exportaciones no tradicionales (exportaciones de productos no petroleros distintos a banano, café, cacao y sus elaborados, camarón, atún y pescado) fue muy importante y coincidió con los esfuerzos realizados en esa década por liberalizar el comercio (Ramírez, s.f).

A partir del año 2000, la economía internacional mejoró su desempeño hasta el año 2007, luego de ello se registran decrecimientos de Apertura Comercial en gran mayoría debido a que a inicios del año 2008, surge la reciente crisis mundial al explotar la burbuja inmobiliaria internacional lo que hizo que el crecimiento de la mayoría de países cayera pronunciadamente en el 2009.

En consecuencia, el grado de apertura de la economía ecuatoriana, medida como participación del comercio exterior, parece relativamente elevado, comparada con otros países no petroleros (Ponce, 2005). Dada la dotación de recursos naturales como el petróleo y su ubicación geográfica, esa magnitud de participación del comercio exterior en el PIB del Ecuador se considera menor a la media que mantienen los países en desarrollo (Banco Mundial, 2004).

## **2.2. Relación de las variables**

### **2.2.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> y PATROCEN.**

Ante un proceso de innovación tecnológica fomentado por una adecuada política regulatoria, se conseguirían beneficios de corrección ambiental como es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y con ello el bienestar de la sociedad.

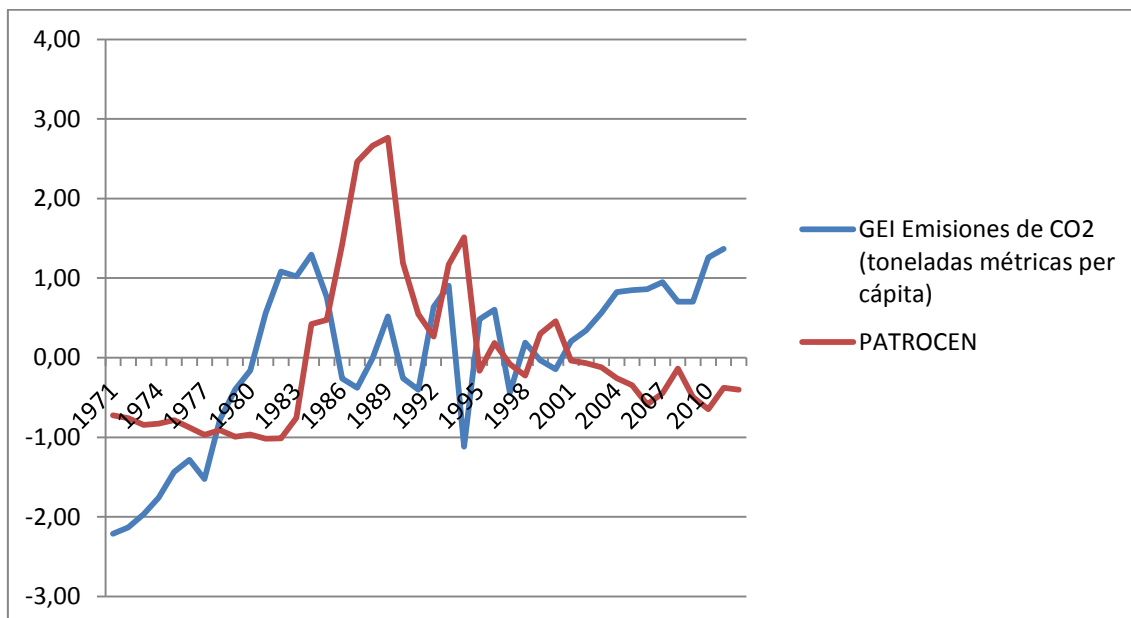
Para determinar la relación existente entre las variables: emisiones de CO<sub>2</sub> (expresadas en toneladas métricas per cápita) y PATROCEN (expresado en GW/h), se realizó una estandarización de los datos con el fin de ajustar las variables para que puedan ser expresadas de una forma común.

La relación entre estas variables (CO<sub>2</sub> y PATROCEN), debe ser negativa, esto es, al aumentar la variable PATROCEN la variable CO<sub>2</sub> disminuye y viceversa, es decir, un aumento en el patrón de consumo renovable debe contribuir a reducir las emisiones contaminantes. Un resultado significativo para esta variable debe interpretarse en términos de eficacia de la política energética.

Como podemos ver en la figura 8, mientras el patrocen aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen, esta característica es más pronunciada en los años 1974-1976, 1984-1986, 1993-1994, 2001-2006. De esta forma podemos afirmar la existencia de una relación negativa entre el PATROCEN y las emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador.

Desde el año 1971 a 1976 el PATROCEN disminuyó en un 49,75% mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron en un 39,81%; en cambio, a partir del año 1984 a 1986 el PATROCEN ha crecido en un 38,16%, y las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyeron en un 46,45%;

desde 1993 a 1994 el PATROCEN aumentó en un 12,72%, por su parte las emisiones de CO<sub>2</sub> tuvieron una disminución del 80,93%; desde el año 2001 al 2006 el PATROCEN disminuyó en un 91,50% mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron en un 14,62%.



**Figura 8: CO<sub>2</sub>-PATROCEN en Ecuador (1971-2011)**

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) *Elaboración:* Propia

Sin duda alguna el aumento en la producción con energía renovable hace que el PATROCEN aumente y a su vez que las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyan, así mismo el aumento en la producción de energías no renovables hace que el PATROCEN disminuya provocando un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 2.3. Evaluación del modelo

### 2.3.1. Metodología (Modelos Vectoriales Autoregresivos VAR).

El modelo VAR fue desarrollado e introducido por Christopher Sims (1980; 1982; 1986), como un enfoque alternativo y al mismo tiempo como una crítica a los modelos de ecuaciones múltiples dado que estos últimos, habían incurrido en ciertos fracasos o inferencias poco confiables, al momento de describir o pronosticar eventos económicos y de manera especial en el análisis y concepción de políticas.

Los VAR son un modelo en los que una variable o conjunto de variables se explican, al menos en parte, en función de los valores pasados de esa misma variable o conjunto de

variables y se utiliza cuando se quiere caracterizar las interacciones simultáneas entre un grupo de variables.

Un VAR con  $n$  ecuaciones y  $n$  incógnitas, se considera un modelo lineal en el cual cada variable es explicada por sus propios valores rezagados, más los rezagos del resto de las  $n-1$  variables y por los errores estocásticos que aparecen en cada ecuación (Reyes, 2012).

Matemáticamente, la expresión de un modelo VAR puede darse de la siguiente manera:

$$B_0 Y_t = Z + B_1 Y_{t-1} + B_2 Y_{t-2} + \dots + B_p Y_{t-p} + e_t \quad (1.1)$$

De donde:

$B_0$  = es una matriz de  $i \times j$  de coeficientes de las variables que intervienen en el VAR,

$Z$  = Vector "Constante",

$B_1, B_2, \dots, B_p$  = matrices de coeficientes de los rezagos,

$e_t$  = Vector de errores o ruido blanco<sup>4</sup>

La técnica VAR ofrece la posibilidad de analizar las interrelaciones dinámicas existentes entre un conjunto de variables por medio de la función de impulso-respuesta y el análisis de descomposición de la varianza lo que le confiere mayores posibilidades para analizar y contrastar modelos teóricos.

### **2.3.1.1. Funciones de impulso respuesta.**

Esta función muestra la reacción (respuesta) de las variables explicadas en el sistema ante cambios en los errores. Un cambio (shock) en una variable en determinado periodo afectará directamente a la propia variable y se transmitirá al resto de variables explicadas a través de la estructura dinámica que representa el modelo VAR.

### **2.3.1.2. Análisis de la descomposición de la varianza del error.**

Por medio la descomposición de la varianza del error de predicción se puede estudiar el peso relativo de cada perturbación en la variabilidad temporal de las variables endógenas

---

<sup>4</sup> Series que son estacionarias sin haber realizado proceso de diferenciación.

del modelo, también se concibe como el porcentaje en el que se modifica cada variable ante cambios imprevistos en el resto de variables.

### 2.3.2. Estimación del modelo.

Con base en los datos de El Banco Mundial (BM) y El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), se obtiene una serie de tiempo confiable para la estimación, el mismo que constituye los años de 1971 a 2011. Validada esta información, con una sólida recopilación de teoría, evidencia empírica y con el empleo del software econométrico (E-Views-5) se presentan las estimaciones del modelo de vectores autoregresivos (VAR) que identifica los determinantes de las emisiones de dióxido de carbono y explica en medida de lo posible la relación entre la variable dependiente (emisiones de CO<sub>2</sub>) y las diferentes variables independientes (PATROCEN, PIB y Apertura Comercial). La tabla 1 muestra la simbología, descripción y fuente de las variables utilizadas en el modelo VAR, para la mayor comprensión de las mismas.

**Tabla 1: Descripción de la base de datos**

Simbología	Variable	Descripción	Fuente
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	Emisiones de CO <sub>2</sub> (toneladas métricas per cápita)	Banco Mundial
PATROCEN	Patrón de Consumo energético	Ratio entre la producción eléctrica de fuentes renovables para las fuentes no renovables	Banco Mundial y Consejo Nacional de Electricidad
PIB	Producto Interno Bruto per cápita (a precios constantes de 2000)	Producto interno bruto dividido por la población a mitad de año. Los datos se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios constantes.	Banco Mundial
APERTURA	Apertura Comercial	Suma de las importaciones e importaciones de los bienes y servicios a precios constantes de 2000 dividido para el PIB a precios constantes de 2000	Banco Mundial



**Fuente:** Banco Mundial y (Cantos & Balsalobre, 2011) **Elaboración:** Propia

Una vez realizada la verificación de la no estacionariedad de las variables se dispone a ejecutar el modelo VAR. El número de rezagos seleccionados se basa en la prueba LAG STRUCTURE, el mismo que sugiere un rezago.

Para la consistencia del modelo se procedió a realizar las pruebas de normalidad, autocorrelación y heterocedasticidad; los mismos que dieron los siguientes resultados:

- ✓ Existe presencia de normalidad
- ✓ Ausencia de autocorrelación
- ✓ Ausencia de heterocedasticidad

De esta manera se concluye que el modelo cuenta con pruebas estadísticamente significativas siendo expresado de la siguiente manera:

$$Y_t = \beta_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 X1_{t-1} + \alpha_3 X2_{t-1} + \alpha_4 X3_{t-1} \quad (1.2)$$

En donde:

$Y_t$  es la variable dióxido de carbono  $CO_2$

$\beta_0$  es la constante

$X_1$  es la variable PATROCEN

$X_2$  es la variable PIB

$X_3$  es la variable Apertura Comercial

En vista de que los modelos VAR no tienen una explicación directa, pero si intentamos una, podríamos decir que todas las variables independientes tienen un efecto de corto plazo en el dióxido de carbono  $CO_2$ , las utilidades del modelo se reflejan en las herramientas de pronóstico del modelo, las mismas que son la función impulso respuesta y descomposición de la varianza.

## **CAPÍTULO III: VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## Introducción

La presente investigación centra su análisis en las herramientas de estudio del modelo de Vectores Autoregresivos, que en este caso son la función impulso respuesta y el análisis de la descomposición de la varianza de error.

Las funciones impulso respuesta vinculan el nivel de una variable objeto de estudio (la respuesta) con el que tiene una variable ambiental (impulso), siendo las emisiones de CO<sub>2</sub> la variable respuesta mientras que el PATROCEN, el PIB y la Apertura Comercial las variables impulso.

El análisis de la descomposición de la varianza del error, en cambio indica la proporción del efecto que, en forma dinámica, tienen todas las perturbaciones de las variables sobre las demás. De esta manera es posible medir la volatilidad que le genera la variable endógena (emisiones de CO<sub>2</sub>) a las exógenas (PATROCEN, el PIB y la Apertura Comercial) en un momento específico.

Por otro lado, contar con un fundamento teórico de la relación entre las variables es un aspecto que se debe tomar en cuenta antes de analizar dichas herramientas, lo que permitirá que la investigación realizada tenga la suficiente solvencia y sustento.

Existen varios argumentos acerca de la relación negativa entre la producción de energía eléctrica y el medio ambiente, así también existen varios analistas como: Cantos y Balsalobre, que concluyen que una alternativa, para la mejora del mismo, es el aumento de la producción tomando en cuenta los recursos renovables, los que son técnicamente eficientes y menos contaminantes.

La idea de que hay cierta interacción entre el crecimiento económico y la contaminación ha propiciado la aparición de estudios empíricos como: "Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España", que tratan de confirmar que la degradación ambiental es una función creciente del nivel de actividad económica hasta un determinado nivel de renta crítico, a partir del cual, un mayor nivel de renta se asocia a niveles de calidad ambiental progresivamente mayores.

La Apertura Comercial, al igual que las energías y el PIB, ha sido tomada para reforzar la hipótesis de que gran influencia tiene la libertad comercial entre países en el deterioro ambiental. Los gases de efecto invernadero aumentan al existir un mayor crecimiento de la producción industrial.

A continuación se analiza el resultado que muestran las herramientas del modelo VAR, tomando en cuenta los diferentes análisis y conclusiones de otros autores los mismos que servirán de base empírica para reforzar los resultados.

### **3.1. Funciones impulso respuesta**

Con la utilización de las funciones impulso respuesta se estima las variaciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente a shocks en las diferentes variables (PATROCEN, PIB y Apertura Comercial) en el periodo 1971-2011.

#### **3.1.1. Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente a shocks en el PATROCEN.**

Desde un prisma económico, la utilización y transformación de la energía como parte de la actividad económica y de la vida social, da lugar a una degradación del medio ambiente, constituyendo una externalidad negativa caracterizada porque un reducido grupo de productores impone un coste (en forma de perjuicio ambiental) a la sociedad (Cantos & Balsalobre, 2011).

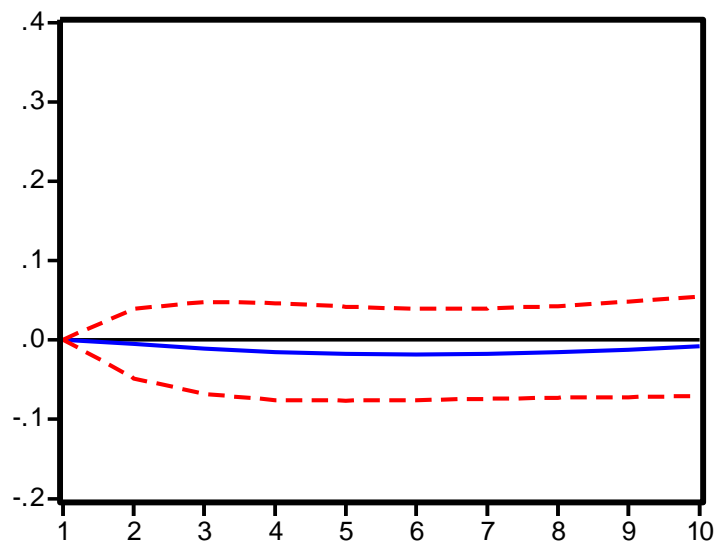
Cantos & Balsalobre, (2011) añaden que la sustitución de fuentes energéticas tradicionales y contaminantes por otras fuentes renovables, se asocia con menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.

La regulación medioambiental en materia de promoción de fuentes renovables puede provocar efectos positivos sobre la innovación, incentivando las actividades de mejora tecnológica aplicadas a la producción de energías alternativas. Ante un proceso de innovación tecnológica fomentado por una regulación administrativa, se conseguirían beneficios adicionales a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (Hernández y Del Río, 2007)<sup>5</sup>.

La figura 9 indica que frente a un incremento en el Patrocen, debido al incremento en la producción de energía proveniente de fuentes renovables, las toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por persona tienden a desplazarse negativamente en el corto, mediano y largo plazo, esto como consecuencia no solo por el aumento de la productividad requerida por la creciente demanda sino también por la aplicación de políticas encaminadas a diversificar la matriz eléctrica, es decir aumentar la producción de energía limpia y disminuir la producción de energía sucia.

---

<sup>5</sup> Disponible en (Cantos & Balsalobre, 2011)



**Figura 9: Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente al PATROCEN**

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) *Elaboración:* Propia

Según datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE), la oferta de combustibles fósiles tendrá una tasa de crecimiento mayor que la oferta de energías renovables, lo que implicará una mayor emisión de GEI en el futuro<sup>6</sup>.

### 3.1.2. Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente a shocks en el PIB.

La incorporación de los factores ambientales a las teorías de crecimiento económico ha pasado por varias etapas, incluso cayendo en desuso (década de los ochenta) hasta la aparición de los modelos de crecimiento endógeno, que permitieron retomar el análisis de la relación entre los problemas medioambientales y el crecimiento económico. Estos “nuevos” modelos de crecimiento se alejan del planteamiento neoclásico al suponer una tasa de crecimiento endógena que permite incorporar las preferencias, la tecnología y las políticas regulatorias a los procesos de crecimiento económico (Cantos & Balsalobre, 2011). En la actualidad, los modelos de crecimiento endógeno constituyen un marco metodológico adaptado al análisis de la relación entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental, y resultan eficaces en la explicación de algunos aspectos básicos del desarrollo sostenible (Alfranca, 2007)<sup>7</sup>.

La Curva de Kuznets ambiental, por ejemplo, ha ganado relevancia científica con la manifestación de una asociación negativa entre el nivel de desarrollo económico de una

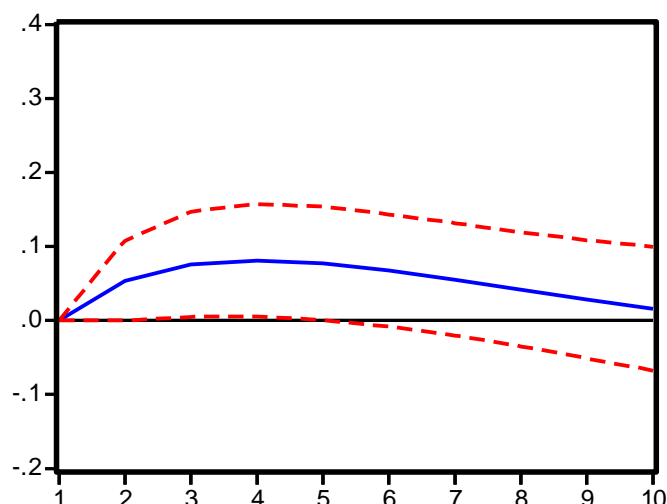
<sup>6</sup> Análisis a nivel global. Disponible en (Aliaga & Villegas, 2009)

<sup>7</sup> Disponible en (Cantos & Balsalobre, 2011)

sociedad y la calidad ambiental, hasta un nivel determinado de ingresos per cápita en donde la contaminación medioambiental comienza a disminuir conforme continúa aumentando el nivel de renta. Andreoni y Levinson (1998) mejoran la hipótesis de la CKA incorporando el argumento de que la tecnología de reducción de contaminación adquiere una singular importancia para entender el fenómeno que plantea la Curva.

Diversos han sido los estudios que se han realizado para validar la hipótesis de la CKA a través de la utilización de indicadores, como índices de desigualdad, tipo de emisión, nivel de educación, etc. Entre los trabajos empíricos pioneros sobre la CKA, se encuentra el realizado por Selden y Song (1995), utilizando diversos contaminantes del aire, tales como el óxido de nitrógeno (NOX) y el monóxido de carbono (CO), encontraron una relación en forma de U-invertida entre las emisiones de los contaminantes estudiados y el PIB per cápita, sin embargo, concluían que la mayoría de la población mundial todavía no habría alcanzado los puntos umbral que permitiesen el cambio de tendencia hacia una reducción en los niveles de contaminación, lo que les llevaba a pensar que las emisiones seguirán aumentando en el futuro.

Es así como, sobre una base empírica, se reconoce la relación entre el PIB per cápita (como nivel de desarrollo económico) y las emisiones de CO<sub>2</sub> (como componente ambiental). En la figura 10, se puede verificar que frente a un incremento en el PIB, explicado por una variación positiva en la productividad, las toneladas métricas de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita tienden a desplazarse de manera positiva tanto en el corto como en el mediano plazo, mientras que en el largo plazo frente a un incremento en el PIB, las emisiones de CO<sub>2</sub> se desplazan de una manera negativa, esto como resultado de una toma de decisiones y una práctica de políticas adecuadas por parte del gobierno de turno.



**Figura 10: Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente al PIB en Ecuador (1971-2011)**

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2011) *Elaboración:* Propia

Las políticas regulatorias adquieren especial relevancia, tanto en los procesos de corrección medioambiental, como en el desarrollo de tecnologías e innovaciones capaces mejorar la forma de generación eléctrica.

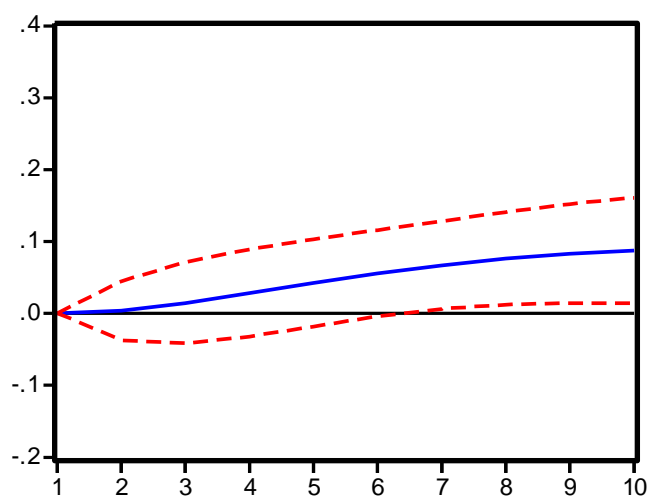
### 3.1.3. Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente a shocks en la Apertura Comercial.

La relación que existe entre la Apertura Comercial y el ambiente ha sido ampliamente estudiada desde inicios de la década de los noventas. La Apertura Comercial tiene un efecto negativo sobre el ambiente si esta es capaz de aumentar el crecimiento económico. Esta posición se sustenta en la “hipótesis de los refugios de contaminación” y es el traslado de industrias intensivas en contaminantes del norte desarrollado hacia el sur en vías de desarrollo. Las industrias intensivas en elementos contaminantes suman un creciente porcentaje de las exportaciones de algunos países en vías de desarrollo, mientras que en los países desarrollados este porcentaje es decreciente (Gitli & Hernández, 2002).

Por otro lado, según Grossman y Krueger (1992), el efecto total de la Apertura Comercial en el medio ambiente depende no sólo de la composición de la producción, sino también de su volumen y de la tecnología. Pero en la medida en que conduzca al crecimiento de la producción industrial, tenderá a provocar un incremento de la contaminación<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Disponible en (Jenkins, 2003)

Aunque el libre comercio genere un crecimiento económico más acelerado, no garantiza un ambiente sostenible y libre de contaminación. Con la evidencia empírica obtenida, podemos afirmar que existe una relación positiva entre la Apertura Comercial y las emisiones de CO<sub>2</sub>. La figura 11 muestra que frente a un incremento en la Apertura Comercial, las toneladas métricas de emisiones de CO<sub>2</sub> por persona tienden a desplazarse positivamente en el corto mediano y largo plazo debido al uso más eficiente de los recursos, la mayor competencia, el aumento del flujo de conocimiento y de la productividad, la reducción de la búsqueda de renta y la mejora de las instituciones y políticas gubernamentales,



**Figura 11: Respuesta de las emisiones de CO<sub>2</sub> frente a la Apertura Comercial**

*Fuente: Banco Mundial (1971-2011) Elaboración: Propia*

El incremento de la productividad, gracias a la Apertura Comercial, hace que aumente el deterioro ambiental por las emisiones de gases de efecto invernadero, de esta forma al aumentar la Apertura Comercial, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan también.

### 3.2. Análisis de la descomposición de la varianza del error

Para el análisis de la descomposición de la varianza del error se toma en cuenta la tabla 5 correspondiente al Anexo G.

En vista de que la descomposición de la varianza del error indica el porcentaje en el que se modifica cada variable ante cambios imprevistos en el resto de variables, se determina lo siguiente:

**Toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, PATROCEN y PIB:** estas variables disminuyen en forma proporcional a su volatilidad, es decir tienen una varianza leve debido



a que esta muestra un cambio en promedio de 5 a 6 puntos porcentuales. De esta manera en el periodo 1971-2009, la variable CO<sub>2</sub> PATROCEN y PIB no sufrieron cambios representativos.

**Apertura Comercial:** esta variable, a diferencia de las demás, tiene una tendencia creciente. Aumenta en forma proporcional a su volatilidad con un cambio en promedio de 1 punto porcentual; se determina entonces que en el periodo analizado ésta variable tiene una varianza muy leve y no sufrió cambios representativos.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN**

## **Introducción**

Dado un contexto internacional caracterizado por escenarios similares como es la contaminación del medio ambiente, se hace cada vez más necesario conocer el grado en que cada país contribuye al problema climático global, regional y local mediante sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Al mismo tiempo es necesario entender cómo pueden verse afectadas las distintas economías y qué acciones, políticas, medidas y estrategias ha venido adoptando cada país para hacer frente a este fenómeno.

Una decidida estrategia adoptada por la mayoría de países, consiste en reducir la elevada dependencia energética de fuentes fósiles y promocionar las fuentes energéticas renovables, adoptando un nuevo modelo energético con menores niveles de emisión de GEI y con menor dependencia geoestratégica (Cantos & Balsalobré, 2011).

El análisis de los problemas relacionados con la contaminación ambiental así como con la planificación energética, por medio de modelos económico-ambientales, ha tenido mayor importancia en el siglo XXI, su desarrollo va en aumento a medida que se describen nuevas aplicaciones para el estudio de dichos sistemas (Reyes, 2011).

Debido a que el sector energético es un factor fundamental para el funcionamiento de cualquier economía el comportamiento de la producción de energía y las relaciones establecidas con las principales variables macroeconómicas han sido estudiadas con mayor detalle en el caso de las naciones del primer mundo, como parte del aporte al proceso de reestructuración de la matriz eléctrica que permite identificar y aplicar nuevas formas de energía renovable.

Un modelo desarrollado en base a los datos registrados de un país en vías de desarrollo como Ecuador, es de suma importancia, ya que no solo podría superar el problema de la ausencia de evidencia empírica que poseen las economías subdesarrolladas sino que también puede ser tomado como ejemplo para los demás países en vías de desarrollo, y de esta forma aportar con el crecimiento y convergencia, en lo relacionado al sector energético, de los mismos.

### **4.1. Contraste del modelo para Ecuador**

Ecuador cuenta con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, para producir y abastecerse de energía limpia y eficiente, entre los que se destacan las energías solar, hidráulica y eólica (renovables) y el petróleo (no renovables). El desarrollo de energías

renovables convencionales hasta el momento ha sido mínimo, debido a la enorme dependencia del país hacia centrales térmicas.

En el país, durante varias décadas, las centrales térmicas fueron las que tenían mayor participación en el Sistema Nacional Interconectado. Hoy en día la mayor parte de electricidad generada proviene de energías renovables (52%) y fuentes sucias (42%), una cantidad menor pero significativa como para afectar el medio ambiente con la generación de emisiones de dióxido de carbono, lo demás es energía importada.

Ante los problemas ambientales generados por la aún dependencia de energías sucias para la producción de electricidad, el actual gobierno se ha preocupado por el medio ambiente y por las formas de generación de energía eléctrica, incluyendo en el Plan Nacional para el Buen Vivir objetivos que garanticen los derechos de la naturaleza y promuevan un ambiente sano y sustentable.

La diversificación de la matriz eléctrica (sustitución progresiva de generación de electricidad a partir de fuentes no renovables por renovables), por ejemplo es uno de los objetivos que se están tomando en cuenta para obtener efectos positivos en la reducción de emisiones de GEI y con ello mejorar los impactos ambientales que perjudican a los seres vivos.

El modelo ecuatoriano obtenido por medio del modelo VAR y que incluye cuatro variables ( $CO_2$ , PATROCEN, PIB y Apertura Comercial), es deudor de éste objetivo, debido a que comprueba el hecho de que un aumento en el PATROCEN, proveniente del crecimiento de la producción de energía de fuentes renovables, permite disminuir las toneladas de emisiones de  $CO_2$  por persona. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), se dirige a la creación de la nueva matriz eléctrica, siendo protagonista la energía renovable que contempla proyectos hidroeléctricos, eólicos, geotérmicos, solares, entre otros.

Así mismo el crecimiento del PIB per cápita en el corto plazo, no resulta ambientalmente bueno para la población, si bien es cierto en términos económicos estaríamos mejorando, pero en términos ambientales estaríamos perjudicándonos hasta un punto en el cual el crecimiento del PIB contribuiría a la disminución de emisiones por medio de la posibilidad de adoptar nuevas tecnologías que permitirían la innovación en la forma de producir energía. El modelo nos muestra de esta forma una relación positiva en el corto plazo y otra negativa en el largo plazo, por ende la gráfica tendrá una forma de U invertida.

En cuanto a la Apertura Comercial, pese a que existe una limitada literatura de la relación de esta variable con el ambiente, para el caso ecuatoriano se puede llegar a la conclusión de que el modelo tiene una relación positiva, es decir, al aumentar la Apertura Comercial las

emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarían también, ello explica el aumento de la industrialización en países en vías de desarrollo como lo es Ecuador. Esto no quiere decir que se debe disminuir la Apertura Comercial para que así se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que es necesario un mundo globalizado de tal manera que los países emergentes contribuyan al aumento de la producción ambientalmente sostenible de los países en desarrollo.

De esta forma, se determina que el desafío consiste en desarrollar un coordinado paquete de políticas que, además de mantener la estabilidad y el crecimiento económico, al mismo tiempo, se preocupe por afrontar los crecientes problemas sociales y medioambientales, lo que ya se está realizando actualmente pero que debería intensificarse para lograr los objetivos propuestos.

## CONCLUSIONES

Las consecuencias del calentamiento global generado por la producción de electricidad se evidencian en el deshielo de los polos, derretimiento de los glaciales, elevación del nivel del mar, inundaciones más graves y más frecuentes especialmente en zonas costeras, sequías en diversas partes del mundo, incendios que arrasaron con bosques y ciudades, aumento de precipitaciones, especies en extinción, mosquitos portadoras de enfermedades que expanden su zona de distribución, entre otras.

En la década de los 70s y principios de los 80s se producía en el país una mayor cantidad de energía eléctrica en base a recursos no renovables como el petróleo, gas y carbón. Hoy en día, aun cuando la cantidad de energía proveniente de recursos renovables es mayor, principalmente por la introducción de hidroeléctricas, el porcentaje de participación de energías sucias sigue siendo considerable (42%), la participación de centrales hidroeléctricas es del 51%, de energías renovables no convencionales como: la eólica, solar, y biomasa es del 1% y de importación es del 6%.

Ante los problemas de la matriz eléctrica ecuatoriana, derivados de su alta dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica y crecientes costos económicos y ambientales que ello implica, el gobierno ha implementado objetivos y metas, los mismos que se presentan en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, así como también una importante inversión para la implementación de proyectos como: las plantas hidroeléctricas Coca- Codo Sinclair (1500 MW), Paute Sopladora (487 MW), Toachi-Pilatón (228 MW), Baba (42 MW) y Ocaña (26 MW), así como dos proyectos eólicos, Villonaco (15 MW) y Galápagos II (5,7 MW) entre otros proyectos que aportaran al objetivo de diversificar la matriz eléctrica del Ecuador.

Para describir la relación entre la contaminación ambiental y la planificación energética se ha realizado un modelo en base a los vectores autoregresivos, los que por medio de sus herramientas: función impulso respuesta y análisis de la descomposición de la varianza del error, ha permitido afirmar lo siguiente:

- ✓ A medida que la producción de energía eléctrica proveniente de recursos renovables aumenta, la variable PATROCEN crece, por la relación positiva existente entre ellas, así las toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por persona disminuyen, por tanto se concluye que existe una relación negativa entre PATROCEN y CO<sub>2</sub>. Con ello se comprueba que la diversificación de la matriz eléctrica es importante para disminuir y detener la contaminación ambiental producida por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- ✓ Tomando en cuenta la variable PIB, a medida que ésta aumenta, las emisiones de CO<sub>2</sub> también aumentan, obteniendo en un principio una relación positiva hasta un cierto punto en el que a un aumento del PIB las emisiones de CO<sub>2</sub> empiezan a disminuir, es decir ésta relación se vuelve negativa adoptando en general una curva en forma de U invertida. Lo que se comprueba con este hecho es que al aumentar la productividad, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan perjudicando al medio hasta el punto en el que el PIB alcanza un umbral en el cual la contaminación disminuye debido a la tercerización de la economía y el efecto del progreso tecnológico.
- ✓ De la misma forma la variable Apertura Comercial nos permite demostrar la existencia de una relación positiva entre la misma y las emisiones de CO<sub>2</sub>, esto explica el aumento en los niveles de industrialización conforme aumenta la actividad económica.

## **RECOMENDACIONES**

Para mitigar el cambio climático y lograr mayor sustentabilidad se necesita cambiar la forma en que se produce la electricidad, se tiene que reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes, hay una opción que lo permite, las energías limpias y renovables (eólica, solar, geotérmica y mini hidráulicas), estas energías no contaminan y son inagotables.

Es necesario garantizar opciones de financiamiento, para que los gobiernos locales puedan involucrarse en la ejecución de proyectos encaminados a la producción de energía limpia.

Existen políticas y metas encaminadas a impulsar el crecimiento de la energía limpia, sin embargo, es imperativo implementar indicadores de eficiencia y efectividad para medir el desarrollo de los proyectos encaminados hacia la producción de energía eléctrica provenientes de recursos renovables, de tal forma que se identifique el impacto de los mecanismos en el entorno nacional.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, J., & Villegas, H. (2009). *Cambio Climático, Desarrollo Económico y Energías Renovables: Estudio exploratorio de América Latina*. [en línea]. visitado el 3 abril de 2013. Recuperado de: [http://www.fes-ecuador.org/media/pdf/Cambio\\_%20Climatico\\_%20Desarrollo\\_y\\_Energias\\_Renovables.pdf](http://www.fes-ecuador.org/media/pdf/Cambio_%20Climatico_%20Desarrollo_y_Energias_Renovables.pdf)
- Alviar, M., Domínguez, L., & Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. Segunda edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.L. España.
- Banco Mundial. (1971-2011). Indicadores de Desarrollo Mundial. [Página web]. visitado el 5 de enero de 2012. Recuperado de: <http://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>
- Banco Central del Ecuador. Dirección General de Estudios. (2010). *La Economía Ecuatoriana Luego de 10 Años de Dolarización*. [en línea]. visitado el 7 de mayo de 2013. Recuperado de: <http://www.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Notas/Dolarizacion/Dolarizacion10anios.pdf>
- Barragán, E. Eras A. (2011). *Mecanismos de promoción y financiación de las energías renovables en el Ecuador*. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Cantos, J. Balsalobré, D. (2011). *Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España*. Universidad de Castilla la Mancha. España.
- Castro, M. (2011). *Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador*. Quito. [en línea]. visitado el 12 de noviembre de 2012. Recuperado de: [http://www.ceda.org.ec/descargas/publicaciones/matriz\\_energetica\\_ecuador.pdf](http://www.ceda.org.ec/descargas/publicaciones/matriz_energetica_ecuador.pdf)
- Chuquin, N., & Márquez, F. (2011). *Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar y controlado con un relé inteligente (ZELIO)*. [en línea]. visitado el 15 de mayo de 2013. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/888/1/15T00466.pdf>
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2009). *Evolución y Situación del Sector Eléctrico Nacional*. [en línea]. visitado el 15 de diciembre de 2012. Recuperado de: <http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/PME0920CAP2.pdf>

- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (1999-2011). Estadísticas del Sector Eléctrico. Indicadores. [Página web]. visitado el 22 de diciembre de 2012. Recuperado de: [http://www.conelec.gob.ec/enlaces\\_externos.php?l=1&cd\\_menu=4223](http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4223)
- Consejo Nacional de Electricidad. (2011). *Plan Maestro de Electrificación 2009-2020*. Sitio web visitado el 9 de enero de 2013. Recuperado de: <http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/PME0920.pdf>
- Energía eólica en Argentina*. (2010). [DVD]. Asociación Argentina de Energía Eólica (AAEE). Argentina.
- Eras, A. (2012). *Estudio Energético del Sistema Eléctrico en Ecuador. Impulso a la Energía Solar Fotovoltaica*. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Francis, D. (2006). *Geothermal Projects in National Parks in the Philippines: The Case of the MT. APO Geothermal Project. Filipinas*. [en línea]. visitado el 12 de mayo de 2013. Recuperado de: <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-02-11.pdf>
- Galindo, L. (2005). *El consumo de energía y la economía mexicana: un análisis empírico con VAR*. UNAM. Mexico.
- Gitli, E., & Hernández, G. (2002). La Existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) y su Impacto sobre las Negociaciones Internacionales. [en línea]. visitado el 13 de junio de 2013. Recuperado de: <http://www.azc.uam.mx/csh/economia/empresas/archivosparadescarga/gittlifiles/9.pdf>
- Gujarati, D. (2004). *Econometria*. Cuarta edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. México.
- International Energy Agency. (2011). *Perspectivas sobre Tecnología Energetica. Escenarios y estrategias hasta el año 2050*. [en línea]. visitado el 16 de octubre de 2012. Recuperado de: [http://www.iea.org/techno/etp/ETP\\_2008\\_Exec\\_Sum\\_Spanish.pdf](http://www.iea.org/techno/etp/ETP_2008_Exec_Sum_Spanish.pdf)
- Jenkins, R. (2003). *La Apertura Comercial ¿ha creado paraísos de contaminadores en América Latina?*. [en línea]. visitado el 18 de marzo de 2013. Recuperado de: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/19307/lcg2204e-Jenkins.pdf>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable; Consejo Nacional de Electricidad. (2012). *Plan Maestro de Electrificación 2012-2021*. [en línea]. visitado el 27 de diciembre de

2012. Recuperado de:  
[http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc\\_10132\\_PME2012\\_2021.pdf](http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10132_PME2012_2021.pdf)
- Larrea, C. (2005). *Hacia una Historia Ecológica del Ecuador: Propuesta para el debate. Ecuador*. [en línea]. visitado el 2 de enero de 2013. Recuperado de:  
[http://www.estudiosecologistas.org/docs/ecopolitica/ecohistoria/eco\\_historia.pdf](http://www.estudiosecologistas.org/docs/ecopolitica/ecohistoria/eco_historia.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). *REDD+ en Ecuador. Una Oportunidad para Mitigar el Cambio Climático y Contribuir a la Gestión Sostenible de los Bosques*. Quito, Ecuador.
- Novales, A. (2011). *Modelos vectoriales autoregresivos (VAR)*. [en línea]. visitado el 26 de mayo de 2013. Recuperado de:  
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ecocuan/anc/ectriaqf/VAR.pdf>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, Agencia Internacional de Energía, Statistical Office of the European Communities. (2007). *Manual de Estadísticas Energéticas*. [en línea]. visitado el 26 de octubre de 2012. Recuperado de: [http://www.iea.org/stats/docs/statistics\\_manual\\_spanish.pdf](http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_spanish.pdf)
- Ponce, J. (2005). *Comercio Exterior Alternativa para Ecuador*. [en línea]. visitado el 28 de marzo de 2013. Recuperado de:  
<http://books.google.com.ec/books?id=kW7b1Cr7ODsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Ramírez, D. (s.f). *El comercio exterior en la economía ecuatoriana*. [en línea]. visitado el 28 de marzo de 2013. Recuperado de:  
[http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20HUMAN%20C3%8DSTICAS%20Y%20SOCIALES/CARRERA%20DE%20SECRETARIADO%20EJECUTIVO/09/COMERCIO%20EXTERIOR/El\\_comercio\\_exterior\\_en\\_la\\_economia\\_ecuatoriana.pdf](http://www.sisman.utm.edu.ec/libros/FACULTAD%20DE%20CIENCIAS%20HUMAN%20C3%8DSTICAS%20Y%20SOCIALES/CARRERA%20DE%20SECRETARIADO%20EJECUTIVO/09/COMERCIO%20EXTERIOR/El_comercio_exterior_en_la_economia_ecuatoriana.pdf)
- Red Eléctrica de España. (2001). *Memoria Ambiental. España*. [en línea]. visitado el 1 de noviembre de 2012. Recuperado de [http://www.ree.es/medio\\_ambiente/pdf/REE-memoria-ma-2011\\_v2.pdf](http://www.ree.es/medio_ambiente/pdf/REE-memoria-ma-2011_v2.pdf).
- Reyes, L. (2012). *Consumo de energía en la economía ecuatoriana período 1970 – 2008: casos y resultados de investigación*. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

Schvarzer, J. (2004). *La apertura económica, el comercio mundial y los bloques regionales*. [en línea]. visitado el 2 de abril de 2013. Recuperado de: <http://www.uned.es/emma/schvarzer.pdf>

SENPLADES. (2009) *Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013. Construyendo un Estado Plurinacional e Intelectual*. Versión Resumida. Ecuador. [en línea]. visitado el 18 de diciembre de 2012. Recuperado de: [http://www.lexis.com.ec/webtools/biblioteca\\_silec/documentos/noticias/PLAN\\_BUEN\\_VIVIR\[1\].pdf](http://www.lexis.com.ec/webtools/biblioteca_silec/documentos/noticias/PLAN_BUEN_VIVIR[1].pdf)

Vallejo, M. C., Larrea, C., Burbano, R., & Falconí, F. (2012). *La iniciativa Yasuní-ITT desde una perspectiva multicriterial*. Quito, Ecuador.

World Wildlife Fund. (2010). *Energías renovables en España 2020: barreras y posibles soluciones. La hora de las energías renovables*. Madrid. [en línea]. visitado el 15 de octubre de 2012. Recuperado de: [http://awsassets.wwf.es/downloads/energias\\_renovables\\_en\\_espana\\_2020\\_\\_barreras\\_y\\_posibles\\_soluciones\\_\\_wwf.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/energias_renovables_en_espana_2020__barreras_y_posibles_soluciones__wwf.pdf)

World Wildlife Fund. (2011). *Informe Renuévate. WWF desmonta mitos sobre las energías renovables en España*. [en línea]. visitado el 15 de octubre de 2012. Recuperado de: <http://awsassets.wwf.es/downloads/renuevate.pdf>

World Wildlife Fund. (2012). *Energía Solar*. [Página web] visitado el 19 de noviembre de 2012. Recuperado de: [http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/nuestras\\_soluciones/energias\\_renovables/energia\\_solar/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/energia_solar/)

World Wildlife Fund. (2012). *Energía Eólica*. [Página web] visitado el 19 de noviembre de 2012. Recuperado de: [http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/nuestras\\_soluciones/energias\\_renovables/energia\\_eolica/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/energia_eolica/)

World Wildlife Fund. (2012). *Energía Minihidráulica*. [Página web] visitado el 19 de noviembre de 2012. Recuperado de: [http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/nuestras\\_soluciones/energias\\_renovables/energia\\_mini\\_hidraulica/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/energia_mini_hidraulica/)

## ANEXOS

### Anexo A. Estimación del modelo de Vectores Autorregresivos

**Tabla 1: Parámetros del Vector Autorregresivo**

Vector Autoregression Estimates  
 Date: 06/14/13 Time: 02:36  
 Sample (adjusted): 1972 2011  
 Included observations: 40 after adjustments  
 Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

	CO2	PATROCEN	PIB	APERTURA
CO2(-1)	0.524283 (0.12890) [ 4.06736]	1.037494 (0.37036) [ 2.80128]	-17.98898 (22.6521) [-0.79414]	-0.014242 (0.01851) [-0.76935]
PATROCEN(-1)	-0.005371 (0.02819) [-0.19053]	0.769737 (0.08100) [ 9.50322]	-0.084397 (4.95395) [-0.01704]	0.004654 (0.00405) [ 1.14967]
PIB(-1)	0.001247 (0.00062) [ 2.01499]	-0.001376 (0.00178) [-0.77425]	0.879759 (0.10873) [ 8.09101]	-4.91E-05 (8.9E-05) [-0.55312]
APERTURA(-1)	-0.384512 (0.71403) [-0.53851]	-1.625754 (2.05161) [-0.79243]	244.2727 (125.480) [ 1.94671]	1.033630 (0.10254) [ 10.0799]
C	-0.547491 (0.40411) [-1.35480]	1.507638 (1.16112) [ 1.29843]	60.62295 (71.0164) [ 0.85365]	0.070847 (0.05804) [ 1.22076]

**Fuente:** Banco Mundial y CONELEC **Elaboración:** Propia con Software Eviews5

## Anexo B. Especificación del modelo VAR

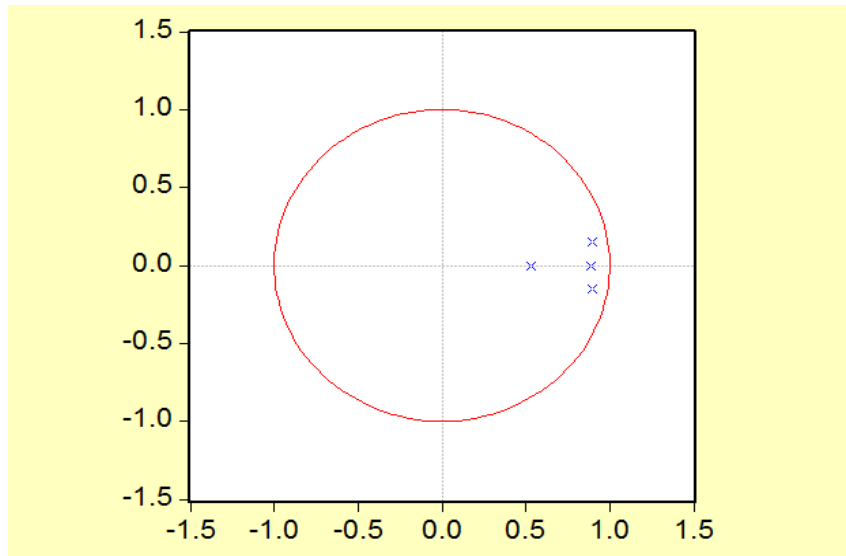


Figura 1: Especificación del modelo VAR

Fuente: Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) Elaboración: Propia con Software Eviews5

## Anexo C. Normalidad

Tabla 2: Coeficientes de Normalidad

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	1.374230	2	0.5030
2	0.398384	2	0.8194
3	1.474722	2	0.4784
4	3.327455	2	0.1894
Joint	6.574790	8	0.5831

Fuente: Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) Elaboración: Propia con Software Eviews5

Nota: H0: Normalidad; H1: Ausencia de Normalidad.

## Anexo D. Autocorrelación

Tabla 3: Prueba de Autocorrelación

Lags	LM-Stat	Prob
1	14.78649	0.5403
2	20.17478	0.2125
3	14.41228	0.5680
4	20.64154	0.1927
5	17.55117	0.3508
6	10.55599	0.8360
7	13.54969	0.6322
8	15.79765	0.4672
9	8.646191	0.9273
10	8.706546	0.9250
11	21.66280	0.1544
12	6.314285	0.9843

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) *Elaboración:* Propia con Software Eviews5

**Nota:** H0: Ausencia de autocorrelación; H1: Autocorrelación.

## Anexo E. Heteroscedasticidad

Tabla 4: Prueba Heteroscedasticidad

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
92.57654	80	0.1590

*Fuente:* Banco Mundial (1971-2011) y CONELEC (2004-2011) *Elaboración:* Propia con Software Eviews5

**Nota:** H0: homocedasticidad; H1: Heteroscedasticidad

## Anexo F. Impulso Respuesta

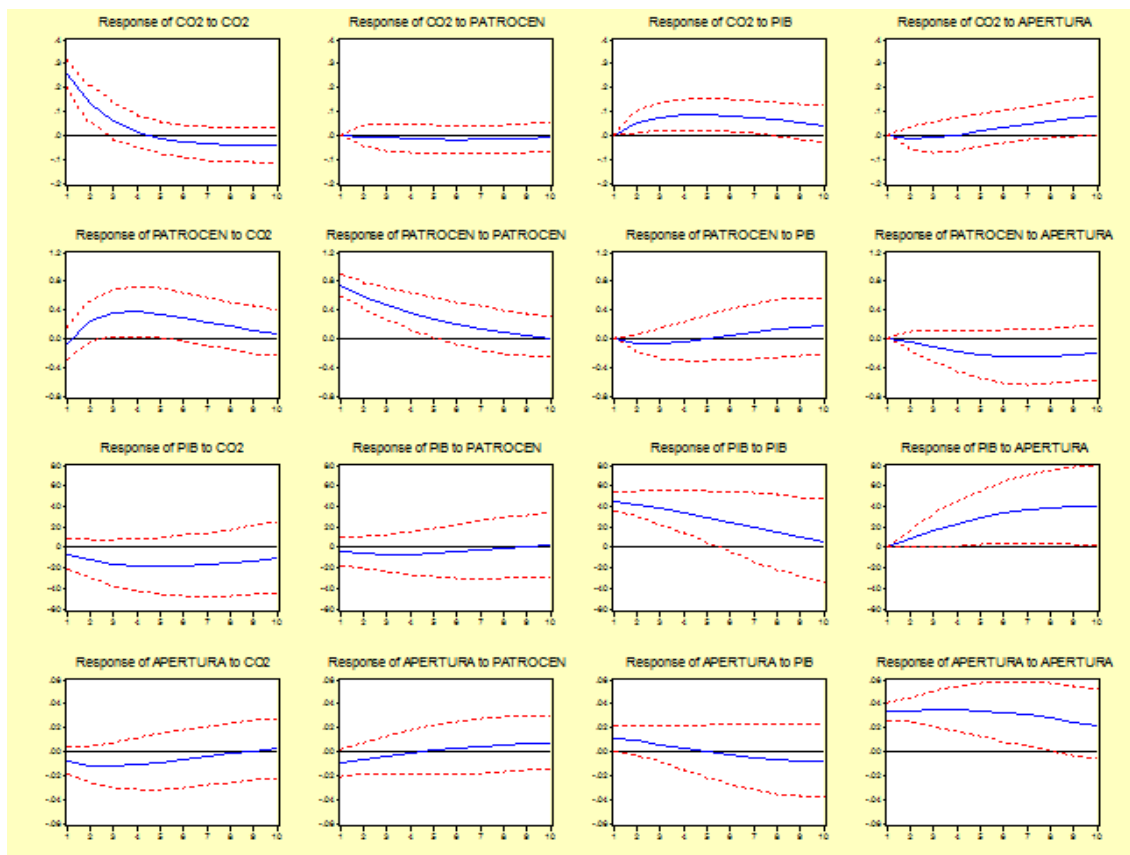


Figura 2: Impulso Respuesta

Fuente: Banco Mundial y CONELEC Elaboración: Propia con Software Eviews5



## Anexo G. Descomposición de la Varianza

Tabla 5: Coeficientes de Descomposición de la Varianza

Variance Decomposition					
Variance Decomposition of CO2:					
Period	S.E.	CO2	PATROCEN	PIB	APERTURA
1	0.258103	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.294073	96.69992	0.029633	3.081377	0.189068
3	0.309316	90.70759	0.145279	8.881857	0.265277
4	0.321567	84.07338	0.353761	15.32405	0.248803
5	0.334057	78.07826	0.607975	20.83345	0.480312
6	0.346976	73.08169	0.846201	24.76170	1.310408
7	0.360026	68.96395	1.023836	27.09247	2.919751
8	0.372930	65.48154	1.123356	28.09842	5.296686
9	0.385488	62.42559	1.150519	28.13527	8.288622
10	0.397537	59.66228	1.125492	27.54246	11.66976
Variance Decomposition of PATROCEN:					
Period	S.E.	CO2	PATROCEN	PIB	APERTURA
1	0.741599	0.890665	99.10933	0.000000	0.000000
2	0.980828	6.270220	92.77810	0.647848	0.303833
3	1.151264	13.91475	83.79721	0.945534	1.342499
4	1.276931	19.76437	76.21503	0.888009	3.132583
5	1.368887	23.40961	70.35085	0.773549	5.465983
6	1.436322	25.29612	65.82546	0.838174	8.040243
7	1.486495	25.96215	62.28890	1.204121	10.54482
8	1.524643	25.87402	59.50570	1.894305	12.72597
9	1.554342	25.39455	57.31997	2.860500	14.42498
10	1.577981	24.78221	55.61732	4.013489	15.58698
Variance Decomposition of PIB:					
Period	S.E.	CO2	PATROCEN	PIB	APERTURA
1	45.35752	2.113831	0.733249	97.15292	0.000000
2	63.78598	4.791562	1.214376	92.37221	1.621848
3	77.93790	7.435851	1.549386	85.83034	5.184421
4	89.94703	9.632195	1.701415	78.44630	10.22009
5	100.5808	11.21213	1.694779	70.92198	16.17111
6	110.1782	12.16689	1.581613	63.74808	22.50342
7	118.8969	12.57802	1.418957	57.23065	28.77237
8	126.8088	12.56700	1.255840	51.52853	34.64863
9	133.9459	12.26244	1.127884	46.69252	39.91715
10	140.3249	11.78131	1.056642	42.70064	44.46140
Variance Decomposition of APERTURA:					
Period	S.E.	CO2	PATROCEN	PIB	APERTURA
1	0.037067	4.257968	6.905720	8.345628	80.49068
2	0.053008	6.857262	4.853267	6.881468	81.40800
3	0.065076	8.023976	3.518388	5.417301	83.04033
4	0.074769	8.207858	2.683839	4.251531	84.85677
5	0.082711	7.848429	2.213431	3.474481	86.46366
6	0.089259	7.256484	2.016030	3.077240	87.65025
7	0.094653	6.628623	2.023640	3.004549	88.34319
8	0.099071	6.078449	2.181204	3.183050	88.55730
9	0.102657	5.662887	2.442273	3.536886	88.35795
10	0.105533	5.401335	2.767276	3.996118	87.83527
Cholesky Ordering: CO2 PATROCEN PIB APERTURA					

Fuente: Banco Mundial y CONELEC *Elaboración:* Propia con Software Eviews5

