



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO, FACULTAD DE ECONOMÍA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: ECONOMÍA REGIONAL Y URBANA

**EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL EN
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: UN MODELO DE COINTEGRACIÓN
CON PANEL, 1980 – 2010.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA:
LUIS ALBERTO SÁNCHEZ JIMÉNEZ

TUTOR:
DR. LUIS MIGUEL GALINDO PALIZA
FACULTAD DE ECONOMÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. OCTUBRE DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México

Al apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

A mi tutor:

Dr. Luis Miguel Galindo Paliza

A los miembros del jurado:

Mtra. Karina Caballero Güendulain

Dr. Fausto Hernández Trillo

Dr. Jimmy Alberto Ferrer Carbonell

Mtro. Eduardo Vega López

AGRADECIMIENTOS (II)

A mis padres Bertha y Juan

A mi hermano Armando, a mi primo César y a Poncho

A mis abuelos Esperanza, Alejandra, Luis y Miguel

A mis tías y tíos Gabriela, Guadalupe, Socorro, Catalina, Felipe, Miguel, Agustín y Severino

A mis primos Miguel, Isabel, Mauricio, Omar y Gustavo

Al Dr. Héctor Bravo

A mis amigos: Rubén Guerrero, Luis Felipe López, Héctor Vizcarra, Gustavo Pérez, Jaime Olivares, Erika Rojas, Eduardo Alatorre, Erika Valladares, Yessica Ramos, Dante Useda, Aurelio Limón, Ana Méndez, Dan Galavíz, Alejandro Noguez, Igor Lugo, Felipe Serrano, Manuel García, Horacio Catalán, Orlando Reyes, Allan Beltrán, Julio César Fuentes, Carlos Francisco, Edna Gómez, Andrés Hernández, Vanesa Granados, Marta Vázquez, Stephany Lozada, Edgar Téllez, Alejandro Gómez, María Esther Álvarez, Raymundo Nava, Horacio Alcántara, César García, Jorge López, Lina Muñoz, Antonin Menegaux y Katharina Arndt.

Even the stars look brighter tonight...
Nothing's impossible
Depeche Mode—Playing the Angel (2005)

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	6
CAPÍTULO I. CAMBIO CLIMÁTICO, ACTIVIDAD ECONÓMICA Y ENERGÍA: UNA VISIÓN GENERAL	8
1.1 Introducción	8
1.2 El Cambio Climático global y sus impactos	9
1.3 La energía como centro de las tres dimensiones del desarrollo sustentable	23
1.4 El desarrollo sustentable y las cumbres mundiales sobre cambio climático	35
1.5 Conclusiones	41
CAPITULO II. INDICADORES RELEVANTES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	44
2.1 Introducción	44
2.2 El crecimiento económico y el uso de energía en América Latina y el Caribe	44
2.2.1 La apertura comercial	44
2.2.2 El Producto Interno Bruto	48
2.2.3 La población y el Producto Interno Bruto per cápita	53
2.2.4 El consumo de energía	60
2.3 Las emisiones de bióxido de carbono en América Latina y el Caribe	73
2.4 Impactos del Cambio Climático en América Latina y el Caribe	76
2.5 Conclusiones	79
CAPÍTULO III. LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: MARCO TEÓRICO Y EVIDENCIA INTERNACIONAL	82
3.1 Introducción	82
3.2 La relación entre economía y medio ambiente	83
3.2.1 Aspectos generales	83
3.2.2 Interdependencia entre economía y medio ambiente	85
3.3 La Hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental	87
3.3.1 Definición de la Curva de Kuznets Ambiental	87
3.3.2 Perspectiva teórica de la relación entre el crecimiento económico y el	88

medio ambiente y la Curva de Kuznets Ambiental	
3.3.3 Aspectos relevantes detrás de la Curva de Kuznets Ambiental	92
3.3.4 La controversia de la Curva de Kuznets Ambiental	94
3.4 Origen de la Curva de Kuznets Ambiental	96
3.5 Especificación del modelo de la Curva de Kuznets Ambiental	100
3.6 Evidencia empírica internacional de la Curva de Kuznets Ambiental	102
3.7 Conclusiones	107
CAPITULO IV. LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: UN MODELO DE COINTEGRACIÓN CON PANEL.	110
4.1 Introducción	110
4.2 Antecedentes, información estadística y especificación del modelo teórico	111
4.3 Metodología econométrica	113
4.3.1 Pruebas de heterogeneidad dinámica	113
4.3.2 Pruebas de raíces unitarias para datos panel	114
4.3.3 Pruebas de cointegración para panel heterogéneo	117
4.3.4 Relaciones de largo plazo mediante Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS)	120
4.3.5 Pruebas de causalidad de Granger	121
4.4 Evidencia empírica de la Curva de Kuznets Ambiental para América Latina y el Caribe: 1980-2010. Un modelo de cointegración con panel	122
4.5 Conclusiones	129
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFIA	139
ANEXO	152
A.1 Modelos de datos panel	152
A.2 Tipos de modelos de datos panel	154
A.3 Contraste de Hausman para efectos fijos o aleatorios	157

INTRODUCCIÓN GENERAL

El Cambio Climático es una de las más grandes amenazas y reto al que se enfrentan actualmente los seres humanos. Existe un consenso en que esta alteración climática, además de los factores naturales, es producto de una alta emisión y concentración de los gases efectos invernadero (GEI) hacia la atmósfera, causados por las actividades antropogénicas.

La evidencia científica a nivel internacional confirma que se han presentado alteraciones climáticas de manera acelerada tanto a nivel regional como global, representados por incrementos en la temperatura y alteraciones en los patrones de precipitación, la disminución del volumen de la Criosfera y en consecuencia, el aumento general del nivel de mar y la salinidad de los mares, entre otros fenómenos importantes. Debido a la complejidad de este problema global, y de no actuar, la temperatura terrestre y los eventos extremos seguirán incrementándose lo que generaría dificultades para la vida en el planeta.

La actividad económica mundial y la quema de combustibles fósiles, junto con los cambios de uso de suelo y la silvicultura, han contribuido al calentamiento global. En América Latina y el Caribe no ha sido la excepción, debido a que las bases de las estructuras de sus economías han contribuido en el aumento de las emisiones de GEI debido por el uso intensivo de combustibles de tipo fósil y al mismo dinamismo de las actividades económicas que han tenido diversos efectos por la globalización mundial de la economía.

Analizar las causas y los costos del Cambio Climático es una tarea compleja, para lo cual es necesario basarse en diversas teorías y metodologías para obtener una aproximación a la realidad y proponer medidas acorde a las situaciones climáticas, económicas y sociales.

Por lo tanto, debido a la situación que impera en los países de América Latina y el Caribe, se decidió hacer una investigación de los factores que determinan las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) a nivel per cápita de 23 países de la región mediante la llamada hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) basándose en la evidencia empírica internacional donde se determinan las variables relevantes que expliquen las emisiones de CO₂, y calcular del nivel de ingreso per cápita óptimo que permita estabilizar y posteriormente disminuir esas emisiones alcanzando la

descarbonización de las economías. La metodología empleada para la estimación de los modelos basados en la CKA se realizará mediante cointegración con datos de tipo panel de 1980 a 2010.

La investigación tiene la siguiente estructura: primero está la introducción general; después se lleva a cabo un análisis de los impactos del Cambio Climático global y se hará una descripción general del panorama mundial destacando el crecimiento económico y el consumo de energéticos; posteriormente se analizarán de manera general y a nivel macroeconómico el comportamiento económico y energético y los impactos del Cambio Climático sobre los países de América Latina y el Caribe; en seguida se analizará a detalle la teoría de la hipótesis de la CKA, así como una revisión de los principales estudios realizados hasta la fecha donde ha sido aplicada y que servirá para poner las bases para especificar un modelo de CKA para la región; después se presentará la metodología econométrica empleada y se realizarán las estimaciones de la CKA y el cálculo de los puntos de inflexión y se analizarán los resultados; finalmente se presentarán las conclusiones generales y las recomendaciones basadas en los resultados de los modelos y las características de la región.

CAPÍTULO I. CAMBIO CLIMÁTICO, ACTIVIDAD ECONÓMICA Y ENERGÍA: UNA VISIÓN GENERAL

1.1 Introducción

El Cambio Climático es uno de los grandes desafíos de la humanidad en el siglo XXI. Esta alteración se presenta debido al incremento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) como son el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los clorofluorocarbonos o gases fabricados con metano, etano y propano (CFC 11 y 12) ((hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SFG)) y que junto con el vapor de agua crean el llamado efecto invernadero¹.

En consecuencia, se han llevado a cabo importantes investigaciones que confirman que en las últimas décadas, de forma acelerada, han estado ocurriendo alteraciones climáticas tanto a nivel regional como global debido a la actividad antropogénica que depende de diversos factores, como el aumento de la población mundial y el crecimiento económico que aumentan las emisiones de GEI en la atmósfera, principalmente del CO₂, así como el incremento en la deforestación, (Labandeira, *et al.*, 2007).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2007 y 2013), las causas que generan el Cambio Climático global son el uso intensivo de energía, el cambio de uso de suelo, la ganadería, los desechos y la agricultura.

El Cambio Climático tiene consecuencias directas que son reflejadas en el aumento de la temperatura y en la alteración de los patrones de precipitación. Asimismo, esto ha conducido a implicaciones físicas que se reflejan en la disminución de la Criósfera, en el aumento del nivel del mar, el incremento en los eventos extremos, en la extinción de diversas especies, modificaciones en la fenología y, en el aspecto económico, se presentan disminuciones en los rendimientos (IPCC, 2007 y 2013; Nordhaus, 1993).

¹ Se define como el proceso de calentamiento de la atmósfera debido a la absorción de la radiación solar por parte de los gases atmosféricos. Este efecto hace que la temperatura media de la Tierra sea de 13°C ya que sin esto la temperatura promedio sería de -18°C (Chémery, 2003).

Las proyecciones de calentamiento de la superficie terrestre global para finales del siglo XXI, de acuerdo con los diversos escenarios climáticos, indican que de no combatirse este problema la cantidad de GEI en la atmósfera continuará incrementándose y en consecuencia llegará a registrar una temperatura promedio de 4 grados centígrados (°C) (IPCC, 2007). En el plano económico, este problema llegaría a costar entre 5 y 20% anual del PIB mundial en cada uno de los siguientes años (Stern, 2007).

Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es llevar a cabo una revisión general del panorama mundial de la relación entre el Cambio Climático y la economía que servirá como base para establecer la conexión entre economía y conservación ambiental mediante el modelo de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Además se realizará una breve revisión de las Cumbres llevadas a cabo hasta el momento que son fundamentales para sentar las bases de cómo lograr economías bajas en carbono que reduzcan los impactos del calentamiento global.

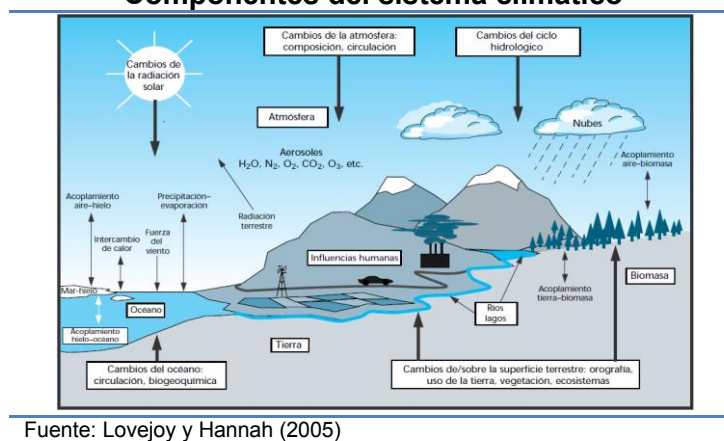
1.2 El Cambio Climático global y sus impactos

El sistema climático es un conjunto altamente complejo que está conformado por un sinnúmero de componentes que generan diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Entre los componentes internos en el sistema climático se encuentran la atmósfera, los océanos, el hielo marino, la tierra (donde se incluye la vegetación, el albedo, la biomasa y los ecosistemas), las capas de nieve, el hielo terrestre y la hidrología (ríos, lagos, aguas superficiales y subterráneas, etc.) (IPCC, 2007).

Asimismo, existen componentes externos que se deben de considerar, como el Sol, la rotación de la Tierra, la geometría Sol-Tierra y su lento cambio de órbita, y los componentes físicos del sistema terrestre, tales como las características geográficas de la superficie, las configuraciones de las cuencas, las profundidades de los océanos, además de la composición básica de la atmósfera y los océanos. Estos componentes determinan la temperatura promedio del planeta, que podría variar de acuerdo con algunas causas naturales (IPCC, 2007).

La Figura 1.1 resume la interacción existente entre los componentes mencionados.

Figura 1.1
Componentes del sistema climático



Existen también perturbaciones en la radiación de la incidencia solar o en la radiación infrarroja emergente, que generan el llamado forzamiento radiativo² del sistema.

En la Tierra pueden presentarse cambios debido a la energía proveniente del Sol y/o de la composición de la atmósfera que son causados por eventos naturales, por ejemplo las erupciones volcánicas.

Por otra parte, los seres humanos a través de sus actividades también liberan gases hacia la atmósfera, los cuales pueden afectar el forzamiento radiativo y son consideradas fuerzas externas dentro del sistema climático (IPCC, 2007 y 2013).

En la Figura 1.2 se muestra como se ha modificado el forzamiento radiativo desde el año 1750 (era industrial) hasta el 2011. Esta alteración se puede generar de dos maneras: 1) por procesos naturales; y 2) por las actividades humanas donde se pueden presentar tanto forzamientos positivos como negativos que son medidos en vatios por metro cuadrado (W/m^2) que se refiere a la tasa de energía por unidad de área.

En el planeta Tierra, los GEI son estables químicamente y persisten en la atmósfera durante tiempos muy prolongados que pueden ser desde décadas hasta siglos. Estas

² El forzamiento radiativo se define como una medida expresada en tasas de cambio de energía por área de unidad del planeta medida en la parte superior de la atmósfera y calculadas en vatios por metro cuadrado (W/m^2) y que indica cómo el equilibrio del sistema atmosférico de la Tierra se comporta cuando se alteran los factores que afectan el clima a causa de factores como pueden ser los gases efecto invernadero.

La palabra radiativo significa que algunos factores alteran el equilibrio entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente dentro de la atmósfera terrestre. Por lo tanto, el equilibrio radiativo controla la temperatura de la superficie terrestre. El término forzamiento se utiliza para indicar que el equilibrio radiativo de la Tierra está siendo separado de su estado normal (ver glosario de términos en el Anexo I del IPCC (2007)).

emisiones ejercen cambios en el clima a largo plazo y las concentraciones están compuestas principalmente por los siguientes gases (IPCC, 2007 y 2013):

- *Bióxido de carbono (CO₂)*: La cantidad de este gas ha aumentado por el uso de combustibles fósiles en el transporte, la construcción, la fabricación de cemento, la calefacción y la refrigeración, entre otras actividades. Asimismo, la deforestación ha contribuido a la reducción en la absorción de emisiones de este gas. El CO₂ es liberado también en procesos naturales como la descomposición de materia vegetal. En 2011, las concentraciones de este gas registraron 391 ppm (partes por millón)³, es decir, exceden el 40% de las registradas en la época preindustrial.
- *Metano (CH₄)*: Procede de fuentes naturales como pueden ser los humedales, así como por las generadas por el ser humano como la agricultura, las actividades de gas natural y los vertederos. Las concentraciones de CH₄ en la atmósfera han aumentado aproximadamente en 150% desde 1750, ya que, en el año 2011, sus niveles llegaron a cerca de 1,803 ppb (partes por billón).
- *Óxido nitroso (N₂O)*: Es originado, principalmente, por las actividades humanas en concreto por la agricultura y los cambios asociados al uso de la tierra. Las concentraciones de N₂O en 2011 fueron de 324 ppb, es decir, un 20% más que la era preindustrial. Representa aproximadamente el 40% de las emisiones totales. Su incremento contribuye a un forzamiento radiativo de + 0.16 ± 0.02 vatios por metro cuadrado (W/m²).

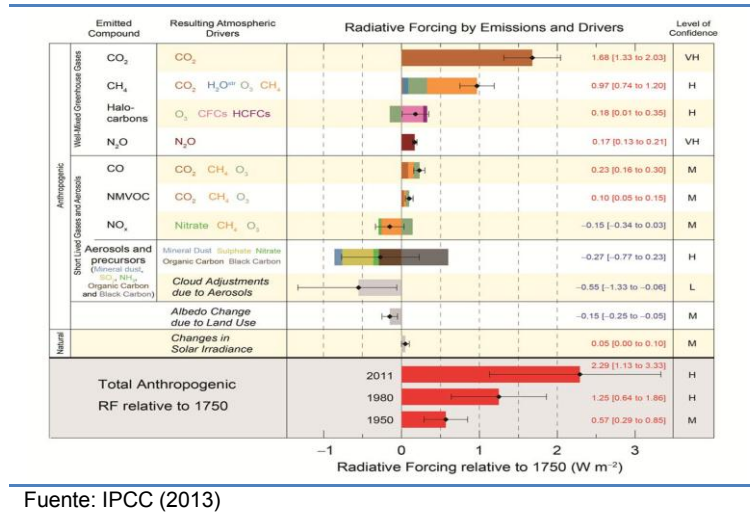
Las actividades humanas han presentado un incremento considerable en el forzamiento asociado a los GEI de larga duración como el CO₂, CH₄ y N₂O, así también en el ozono (O₃) y el vapor de agua estratosférico. Por el contrario, los aerosoles han tenido un aumento importante, su efecto sobre el clima es de enfriamiento.

En 2011, el impacto de las actividades antropogénicas en el forzamiento radiativo registró un crecimiento de 2.29 W/m² con respecto al año 1750 con un nivel de

³ Se define como ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón) al ratio del número de moléculas de gas por el número total de moléculas en el aire seco, es decir, 300 ppm significa 300 moléculas de un gas por un millón de moléculas de aire seco (IPCC, 2013).

confianza alto. Esto confirma el fuerte impacto de las actividades humanas en el clima⁴. Las alteraciones por procesos naturales, la irradiación solar tiene un efecto importante pero menor en el calentamiento del clima en comparación con un valor ligeramente superior a 0.05 W/m⁻² de forzamiento radiativo (IPCC, 2013).

Figura 1.2
Forzamiento radiativo



Fuente: IPCC (2013)

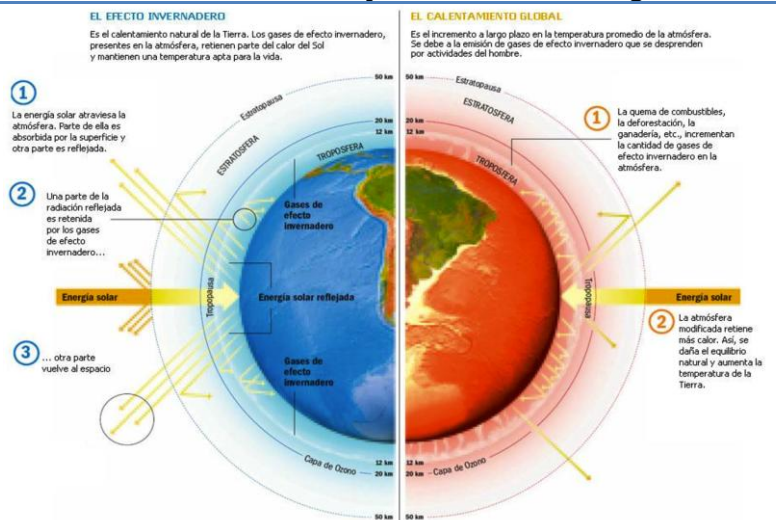
Por lo tanto, el Cambio Climático ha sido un fenómeno que se ha estudiado a partir del siglo XIX⁵ y donde se ha llegado a la conclusión de que las actividades humanas, principalmente a partir de la revolución industrial, intensificaron el fenómeno de calentamiento global por el excesivo consumo de energéticos de origen fósil, el crecimiento acelerado de la población mundial y de las actividades económicas. Esto a su vez, genera presiones sobre los recursos naturales y ocasionan modificaciones al equilibrio ecológico planetario, poniendo en riesgo la salud humana y la supervivencia de las especies animales (IPCC, 2007 y 2013; Labandeira, *et al.*, 2007).

En la Figura 1.3 se muestra que el Cambio Climático se debe por el incremento de la radiación infrarroja atrapada por la atmósfera que aumenta la temperatura del planeta debido al incremento de las concentraciones de los GEI (principalmente el CO₂ y el CH₄) y el vapor de agua que modifican la capa natural en la atmósfera terrestre que sirve para retener una parte de la radiación proveniente del Sol. Estas pequeñas variaciones en el balance de la temperatura global pueden causar graves catástrofes (IPCC, 2007 y 2013).

⁴ Información de tres décadas anteriores indica que el forzamiento tenía niveles de 1.25 con respecto a la era industrial (IPCC, 2013).

⁵ Los científicos han estudiado el clima terrestre y en consecuencia el Cambio Climático a través de satélites, registros instrumentales e históricos de temperaturas globales y datos paleo climáticos (por *proxy*).

Figura 1.3 El efecto invernadero y el calentamiento global



Fuente: <http://www.docstoc.com>

Las concentraciones de GEI (ver panel izquierdo de la Gráfica 1.1), desde el año cero hasta la segunda mitad del siglo XVIII, registraron una tasa de crecimiento constante. Posteriormente a la revolución industrial, los datos muestran un incremento muy importante hasta 2005 con cerca de 400 y 320 ppm para el CO₂ y N₂O respectivamente y 2,000 ppm en el caso del CH₄ (IPCC, 2007). Actualmente, las concentraciones de estos gases exceden a los registros más altos, lo que significa que las tasas medias de crecimiento de las concentraciones atmosféricas han sido elevadas en los últimos 22,000 años (IPCC, 2013).

Las emisiones anuales de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento fueron de 8.3 GtC⁶ en promedio de 2002 a 2011 y comparando este último año con los registros de 1990, las concentraciones han sido 54% mayores.

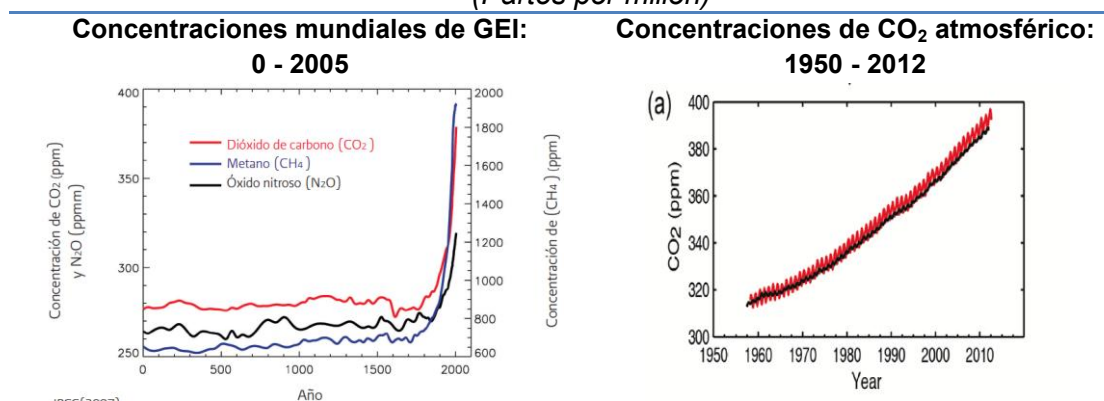
Desde la etapa preindustrial hasta 2011 se han emitido 365 GtC a la atmósfera, donde la deforestación y el cambio de uso de suelo generaron cerca de 180 GtC. Las emisiones anuales netas de CO₂ antropogénicas por uso de suelo cambiaron 0.9 GtC en promedio durante el período 2002-2011, (IPCC, 2013).

Las emisiones acumuladas antropogénicas de CO₂ registran cerca de 545 GtC (240 GtC están almacenadas en la atmósfera, 155 GtC han sido absorbidas por el océano y

⁶ 1 Giga tonelada de carbón (GtC) equivale a 10¹⁵ gramos de carbón, es decir, 1 petagramo de carbón y que también puede representar 3.67 Giga toneladas de CO₂ (GtCO₂) (IPCC, 2013).

150 GtC pertenecen a los ecosistemas terrestres naturales). El panel derecho de la Gráfica 1.1 se muestra las trayectorias ascendentes en la acumulación de CO₂ atmosférico.

Gráfica 1.1
Concentraciones de GEI y CO₂ atmosférico
(Partes por millón)



Fuente: IPCC (2007)

Fuente: IPCC (2013)

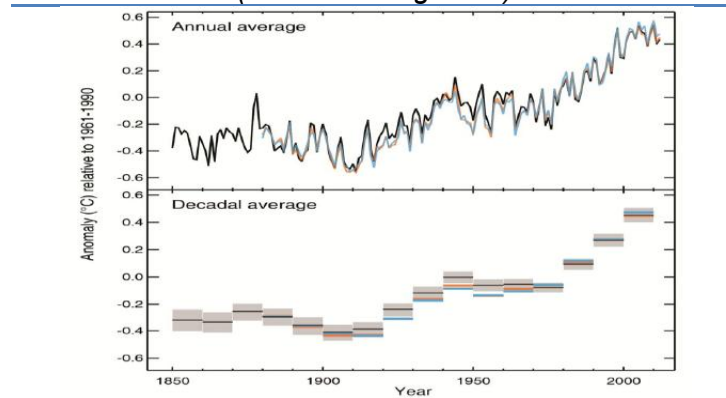
Nota: La trayectoria en color negro corresponde a información registrada en el Polo Sur y la trayectoria roja pertenece a información proporcionada por el Mauna Loa Observatory.

Las consecuencias directas del Cambio Climático son las siguientes:

Aumento de la temperatura promedio global: En las últimas décadas, la superficie de la Tierra estado en una situación de calentamiento continuo. En el Hemisferio Norte, de 1983 a 2012 se han registrado las tres décadas más calurosas de los últimos 1,400 años (IPCC, 2013). Durante el último siglo y medio, la temperatura media de la Tierra se incrementó por arriba de 0.5°C (IPCC, 2007 y 2013).

La trayectoria de la temperatura promedio mundial combinada de la superficie terrestre y de los océanos de 1850 a 2012, muestra evidencia de un incremento considerable entre un rango de 0.65 y 1.06°C, esto significa un aumento promedio de 0.85°C de 1880 a 2012. El incremento promedio entre 1850 y 1900 y de 2003 a 2012 es de 0.78°C (el rango ha sido de 0.72 a 0.85°C) como está registrado de acuerdo al conjunto de información con el periodo de tiempo más largo (IPCC, 2013) (ver Gráfica 1.2).

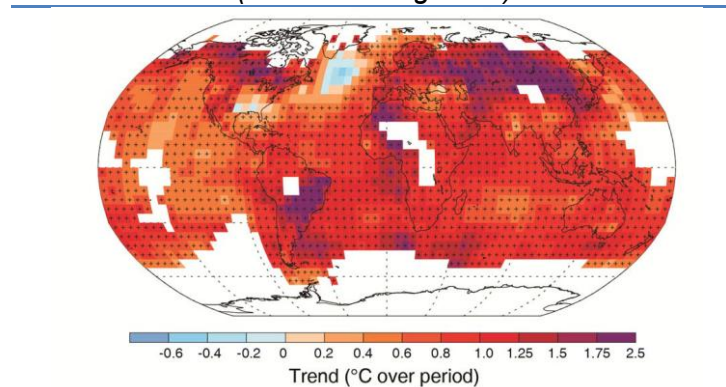
Gráfica 1.2
Temperatura promedio global de la superficie terrestre y de los océanos: 1850-2012
(Grados centígrados)



Fuente: IPCC (2013)

A nivel regional, de 1901 a 2012, la Tierra ha presentado calentamiento en su superficie con una considerable variabilidad interanual y decenal como se observa en la Figura 1.4.

Figura 1.4
Cambio observado en la temperatura promedio de la superficie: 1901-2012
(Grados centígrados)



Fuente: IPCC (2013)

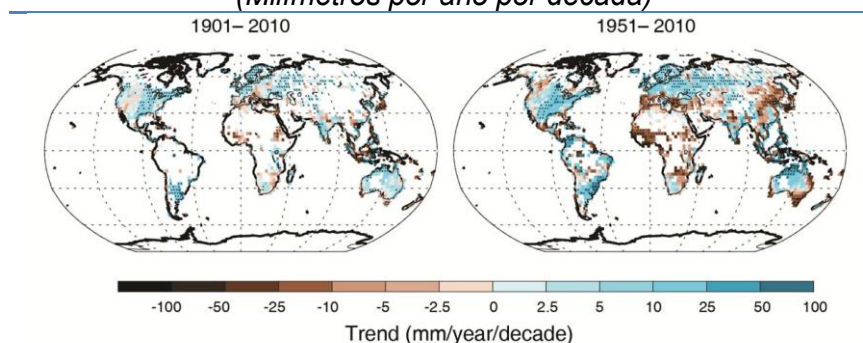
Anomalías en los patrones de precipitación: Existe evidencia de que estas anomalías se han incrementado de forma significativa desde 1950 en regiones donde las precipitaciones eran menores.

El aumento en el número de precipitaciones se relaciona con la mayor frecuencia de ciclones tropicales en el Atlántico Norte en la década de los años 1970 causados por el aumento de la temperatura superficial del mar tropical.

También se han presentado fenómenos de precipitaciones menos comunes (uno en un período de retorno de 50 años), pero sólo algunas regiones cuentan con información suficiente para evaluar la fidelidad de esas tendencias (IPCC, 2007).

En la Figura 1.5 se muestra que antes de 1951, la precipitación media en la superficie terrestre es baja, posteriormente han ido incrementándose en el Hemisferio Norte y en otras latitudes las tendencias han tenido variaciones positivas o negativas. Lo anterior se debe a los aumentos en las sequías desde la década de los años 1960, particularmente en los trópicos y subtropicos que están relacionados con las disminuciones de las precipitaciones y con temperaturas más altas (IPCC, 2007 y 2013).

Figura 1.5
Cambios observados en la precipitación sobre la superficie terrestre: 1901-2010
(Milímetros por año por década)



Fuente: IPCC (2013)

Asimismo las consecuencias directas del Cambio Climático han generado otros impactos que son representados en los siguientes fenómenos:

Aumento de eventos extremos: Las variaciones de la precipitación promedio mundial tienen una fuerte relación con los eventos extremos, que cada año han sido más intensos porque en las últimas cinco décadas la precipitación fue más intensa en las latitudes medias y en regiones donde no se presentaban lluvias que estuvieran por arriba del valor promedio (IPCC, 2007).

También se han registrado severas sequías en el Hemisferio Norte y en la mayor parte de Eurasia Meridional, África Septentrional, Canadá y Alaska, y se han intensificado fenómenos como El Niño-Oscilación Meridional (ENSO) modificando la ubicación y actividad de las tormentas tropicales en todo el mundo, con aumentos en las últimas tres décadas en el número de huracanes (IPCC, 2007 y 2013).

Estas alteraciones climáticas, principalmente en la temperatura y en la precipitación, han generado diversos fenómenos, destacando las modificaciones en las temperaturas en los días y noches, el aumento de precipitaciones, sequías, ciclones y tormentas extremas.

La evidencia internacional señala la existencia de episodios meteorológicos extremos como son (IPCC, 2007 y 2013):

- En las últimas cinco décadas, han disminuido las noches frías y se ha incrementado la cantidad de noches cálidas. Asimismo la distribución de las temperaturas máximas y mínimas ha registrado valores superiores de acuerdo con el calentamiento general. También los extremos fríos han tenido mayores incrementos de temperatura en comparación con los extremos cálidos. En cuanto a las precipitaciones, éstas han sido más intensas en latitudes medias y en lugares donde no se ha incrementado la precipitación media.
- A partir de la mitad del siglo XX, la tendencia ascendente de las sequías se ha intensificado en diversas zonas del Hemisferio Norte con sequías generalizadas en la mayor parte de Eurasia Meridional, África Septentrional, Canadá y Alaska.
- La ubicación y la actividad de las tormentas tropicales a nivel internacional han sido afectadas por el fenómeno El Niño-Oscilación Meridional con aumentos de 75%, aproximadamente, desde la década de 1970, con huracanes categorías 4 y 5.

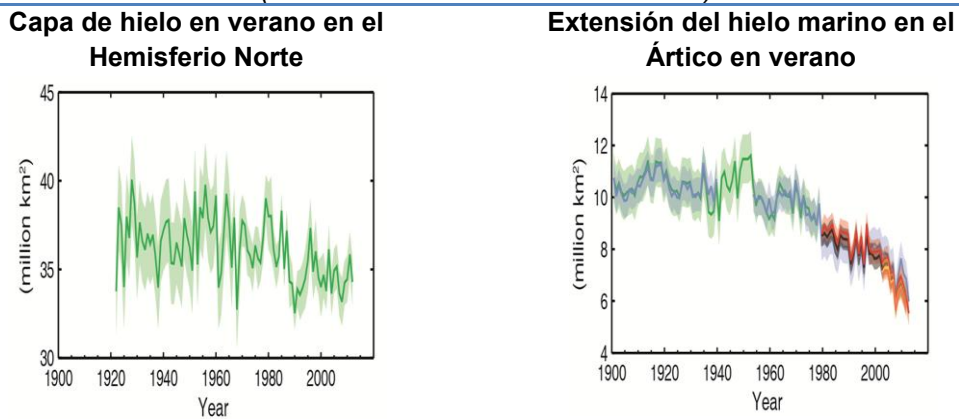
Reducción de la Criosfera⁷: Se han presentado importantes disminuciones en la cantidad de capas de hielo en el Hemisferio Norte aproximadamente de 5% anual en las estaciones de primavera según cifras de finales de los años ochenta.

Actualmente, existen cerca de 36 millones de kilómetros cuadrados (km²) de Criosfera en comparación con los casi 38 millones que había a principios del siglo XX, y con la importante tendencia a disminuir en las siguientes décadas como se ha estado presentando en el Hemisferio Norte. En verano, el hielo del Ártico también ha estado

⁷ Se define como el componente del sistema climático que abarca la totalidad de la nieve, el hielo y el terreno congelado (incluido el permafrost) situados encima y debajo de la superficie terrestre y oceánica (ver glosario de términos en el Anexo I del IPCC (2007)).

reduciéndose pasando de 10 millones de km² en el año 1900 a casi 6 millones de km² en el 2010 (IPCC, 2013) (ver Gráfica 1.3). En el caso del Hemisferio Sur, las alteraciones en superficie de su Criosfera mantienen cambios de menor intensidad por lo que el grosor de su capa de hielo es constante (IPCC, 2007 y 2013).

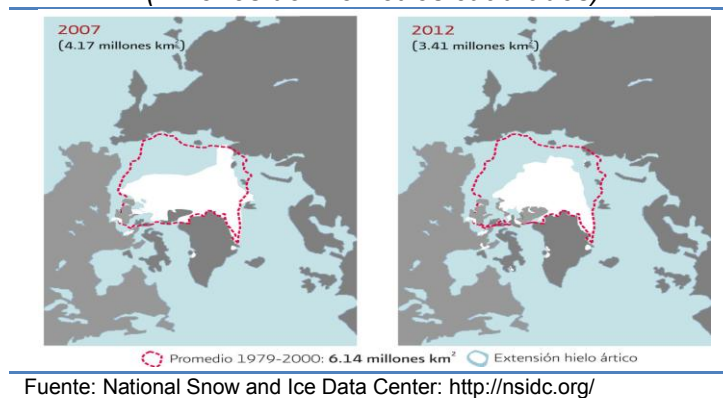
Gráfica 1.3
Alteraciones en la Criosfera
(Millones de kilómetros cuadrados)



Fuente: IPCC (2013)

En la Figura 1.6 se ilustra un ejemplo de las consecuencias del Cambio Climático, es decir, en el caso de la extensión del volumen de los hielos flotantes del Ártico se percibe una disminución considerable pasando de 4.17 a 3.41 millones de km² en un período de cinco años comparado con volúmenes promedio de 6.14 millones de km² registrados 1979 a 2000 (ver Figura 1.6).

Figura 1.6
Extensión del hielo Ártico
(Millones de kilómetros cuadrados)



Fuente: National Snow and Ice Data Center: <http://nsidc.org/>

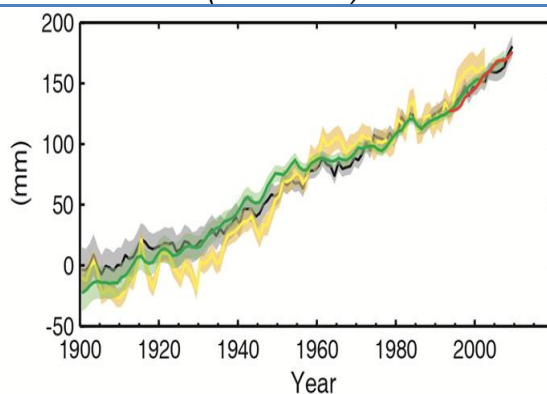
Aumento del nivel medio del mar: Es una causa de las reducciones en la Criosfera y de las variaciones en la temperatura promedio terrestre donde cambia el nivel

promedio y el volumen de los océanos; además se altera la salinidad y sus componentes bioquímicos.

La tasa del nivel del mar aumento desde la mitad del siglo XIX y ha sido mayor que la tasa de crecimiento media durante los dos milenios previos. Durante el periodo de 1901 a 2010 el nivel medio del mar en el Planeta aumento cerca de 1.7 milímetros (mm) por año, es decir, el rango de incremento fue estuvo entre 1.5 a 1.9 mm (ver Gráfica 1.4).

Los registros indican que en períodos de tiempo más cortos como es el caso de 1971 a 2010, el incremento fue de 2.0 mm por año, lo que equivale que el crecimiento estuvo en un rango de 1.7 a 2.3 mm y en el caso del rango entre los años 1993 y 2010, el crecimiento medio del nivel del mar se ubicó en 3.2 mm (rango de 2.8 a 3.6 mm) (IPCC, 2013).

Gráfica 1.4
Modificaciones en el nivel medio mundial de mar
(Milímetros)



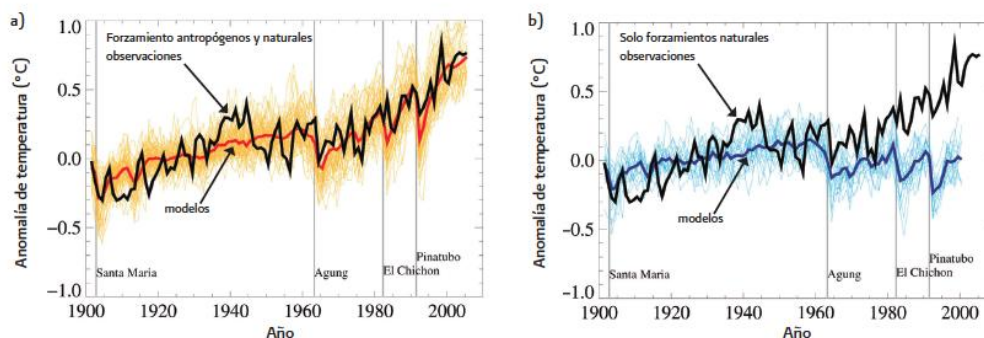
Fuente: National Snow and Ice Data Center: <http://nsidc.org/>

En el panel a) de la Gráfica 1.5, se representan las anomalías en la temperatura causadas por las actividades antropogénicas y por la naturaleza que es comparada con diversas simulaciones de modelos, obteniendo una tendencia en común que representa el promedio de esos modelos. Se verifica que la influencia de la actividad humana generó un incremento bastante considerable en la temperatura media mundial.

En el panel b), la trayectoria de forzamientos naturales se compara contra la tendencia que representa a las anomalías simuladas por los modelos, comprobándose que, aún con los diferentes fenómenos volcánicos ocurridos durante este período, que la

temperatura media mundial registrará anomalías de 0.2°C máximo, con una ligera tendencia a ser negativa a partir de la década de los años setenta (IPCC, 2007).

Gráfica 1.5
Anomalías en temperatura media mundial: 1900 – 2005
(Grados centígrados)

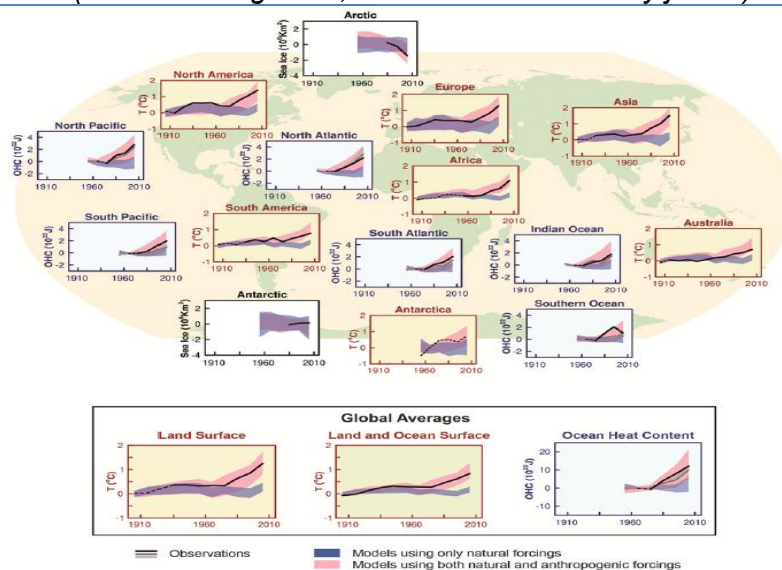


Notas: En el panel a) la línea negra representa las anomalías de la temperatura media mundial por forzamientos antropogénicos y naturales, la línea roja es el promedio simulado de varios modelos obtenido de las simulaciones representadas con las líneas amarillas. En el panel b) la línea negra son las anomalías únicamente por forzamientos naturales, las líneas azules claro son las simulaciones de diversos modelos y la línea azul oscuro es el promedio obtenido de esos modelos. Las líneas grises verticales indican fenómenos volcánicos importantes.
Fuente: IPCC (2007).

En la Figura 1.7, se muestran las trayectorias de tres grandes indicadores observados y simulados de la atmósfera, la Criósfera y el océano donde las anomalías se presentan de 1880 a 1919 en el caso de las temperaturas de la superficie, para el calor del océano fue de 1960 a 1980 y para el caso de hielo del mar fue de 1979 a 1999.

En la mayoría de las regiones, con excepción de la Antártida, los forzamientos antropogénicos han generado un cambio importante en la temperatura de la superficie desde mediados del siglo XX, debido a que el calor de los océanos ha sido superior, modificando su contenido entre un rango de 0 a 700 m desde los años setenta con la posible evidencia de influencia humana en las cuencas oceánicas individuales. Asimismo se han presentado pérdidas de hielo marino en el Ártico desde finales de los años setenta y principios de los ochenta (IPCC, 2013).

Figura 1.7
Atribución al Cambio Climático a nivel global y por regiones
(Grados centígrados, kilómetros cuadrados y joules)



Nota: La atmósfera, la Criósfera y el océano de acuerdo con lo siguiente: en paneles amarillos se representa el cambio de las temperaturas continentales terrestres, los paneles blancos muestran la extensión de hielo marino del Ártico y del Antártico en el mes de septiembre y los paneles azules indican el calor del océano en las principales cuencas oceánicas.
 Fuente: IPCC (2013)

Finalmente, en la Figura 1.8, se muestra una relación importante entre las emisiones acumuladas de CO₂ que seguirán generando en mayor medida el calentamiento de la superficie de la Tierra en todo el siglo XXI y en posteriores décadas, donde el aumento de la temperatura superficial está determinada por el total de las emisiones globales de CO₂ acumuladas⁸ de varias líneas de evidencia hasta el año 2100.

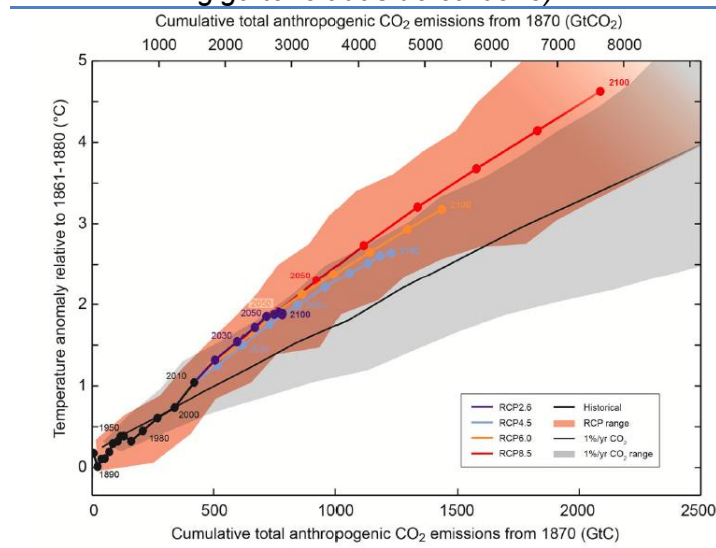
Por consiguiente, la línea negra muestra la trayectoria de los modelos de 1860 a 2010, los puntos indican los medios decenales, es decir, si el punto se ubica en el 2050, esto significa un rango de años de (2041 a 2050); las zonas sombreadas indican la propagación multi-modelo de los cuatro escenarios nuevos propuestos por el IPCC conocidos como *Senderos de Concentración Representativa* (RCP's)⁹; la línea fina negra y la zona gris representa la media multi-modelo y su rango simulado.

⁸ Medidas en giga toneladas de bióxido de carbono (GTCO₂) y giga toneladas de carbono (GTC).

⁹ Los RCP's son (IPCC, 2013):

- *Escenario RCP2.6*: El forzamiento radiativo de este escenario es 2.6 W/m⁻² hasta el año 2100 y posteriormente declina estabilizando el nivel de emisiones y manteniéndolas constantes. Además, incluye un escenario de mitigación de muy bajo nivel de forzamiento radiativo.
- *Escenario RCP4.5 y RCP6.0*: Son escenarios de estabilización intermedios y cuentan con forzamientos radiativos de 4.5 y 6.0 W/m⁻² respectivamente, donde las emisiones se estabilizan después del año 2100 y permanecen constantes hasta el año 2150.
- *Escenario RCP8.5*: Este escenario cuenta con un mayor forzamiento radiativo (mayor a 8.5 W/m⁻²) que continúa incrementándose durante algún tiempo y después del año 2100 las emisiones de GEI se mantienen constantes, pero en cambio, las concentraciones seguirán aumentando y se mantendrán constantes sólo después del año 2250.

Figura 1.8
Relación entre la temperatura media global de la superficie terrestre y las emisiones antropogénicas acumuladas de CO₂
(Grados centígrados, giga toneladas de bióxido de carbono y giga toneladas de carbono)



Fuente: IPCC (2013)

Algunos de los principales resultados son los siguientes (IPCC, 2013):

- Total de las emisiones acumuladas de CO₂ y la temperatura de la superficie global tienen aproximadamente una relación lineal. El nivel de calentamiento está asociado a las emisiones acumuladas, por lo que ante altas emisiones en décadas anteriores implica bajas emisiones posteriormente.
- Una fracción del Cambio Climático antropogénico causado por las emisiones de CO₂ es irreversible solo en caso de que se remueva una cantidad importante de CO₂ de la atmósfera. Por lo que la temperatura de la superficie terrestre se incrementará durante varios siglos.
- Es virtualmente probable que el nivel promedio del mar en el mundo continúe ascendiendo más allá del año 2100. Para un forzamiento radiativo que corresponde a concentraciones de CO₂ entre un rango de 700 a 1500 ppm, como se muestra en el escenario RCP8.5, el nivel del mar aumentará entre 1 y 3 m a un nivel medio de confianza.

1.3 La energía como centro de las tres dimensiones del desarrollo sustentable

La evidencia científica se ha demostrado la existencia de diversos impactos ocurridos por el Cambio Climático y se han planteado posibles escenarios futuros asociados a las actividades económicas y al estilo y calidad de vida de la población.

En las últimas décadas, la búsqueda del desarrollo sustentable se ha convertido en una de las metas entre las naciones, buscando condiciones de vida aceptables mediante la implementación de instrumentos y políticas económicas, sociales y ambientales.

El interés por el desarrollo sustentable surgió en las décadas de los años sesenta y setenta donde la actividad económica daba prioridad a aspectos relacionados con el crecimiento y los sistemas financieros, sin importar el la explotación excesiva de recursos naturales utilizados como impulsores del crecimiento.

Asimismo, las políticas sociales estaban siendo olvidadas debido a los acontecimientos ocurridos a finales de los años setenta y a las grandes crisis en la siguiente década. Después de estos acontecimientos mundiales, vuelve a surgir el interés por la calidad de vida de la sociedad y el deterioro ambiental en que el planeta esta inmerso.

Por lo tanto, en 1987, a través del *Reporte Brundtland* en el documento “*Nuestro Futuro Común*”, publicado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD), se definió al desarrollo sustentable como “la forma la cual busca satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer o afectar las necesidades de las futuras generaciones” (CMMAD, 1987). Asimismo, la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe propone otra definición donde señala que “el desarrollo sustentable que busca distribuir de una manera más equitativa los beneficios del progreso económico, proteja el medio ambiente nacional e internacional para que se beneficien las futuras generaciones y mejoren sustancialmente su calidad de vida” (CEPAL, OLADE y GTZ, 2003).

El desarrollo sustentable se busca llevar a cabo a través del *crecimiento económico*, que se define como la producción de bienes y servicios en una economía y la cantidad total de ingreso que se genera y que es representado por el Producto Interno Bruto (PIB), cuya prioridad es mejorar e incrementar la actividad económica y en

consecuencia del ingreso (Purvis y Grainger, 2004); y el *desarrollo económico*, que es el aumento del bienestar social en su conjunto y es el reflejo de un amplio conjunto de oportunidades que están disponibles a la generación actual. Con esto se busca el aumento del ingreso medio, además de que la sociedad tenga acceso a alimentos, agua, vivienda, servicios de salud y educación y buscando equidad entre generaciones (Simpson, 1987).

En años recientes, existe la discusión sobre las relaciones que hay entre crecimiento económico, la producción y consumo de energía, (destacando el carbón y el petróleo)¹⁰, el cambio tecnológico y los efectos negativos que generan sobre el medio ambiente (Goldemberg *et al.*, 1987).

Sin embargo, hay una contraparte entre la relación energía-desarrollo sustentable que puede generar diversas acciones favorables como llevar una explotación más razonable de las reservas de petróleo, mejorar la operación de las cuencas hidráulicas, manejar de forma sostenible el uso racional de leña, electricidad y acceder a otros energéticos más limpios, mejorar la eficiencia energética, reducir de costos energéticos para llevar a cabo políticas más efectivas y una mayor eficiencia productiva. Por lo tanto, de acuerdo con Najam y Cleveland (2003) y Munasinghe (2002), la energía se ha convertido en la discusión central del desarrollo sustentable ya que es considerada el núcleo de las siguientes tres dimensiones:

(1) La dimensión económica: La energía es el motor clave del crecimiento macroeconómico. El uso de la energía es importante porque contribuye a la transformación de insumos en bienes finales y servicios. A nivel agregado, existe una relación importante entre la cantidad de uso de energéticos y el tamaño y bienestar de

¹⁰ La energía es definida como la capacidad de los cuerpos o sistemas de cuerpos para poder realizar un trabajo, que se mide en proporción a la fuerza aplicada a un objeto y la distancia que se desplaza con motivo de esta acción (OCDE, AIE y EUROSTAT, 2007).

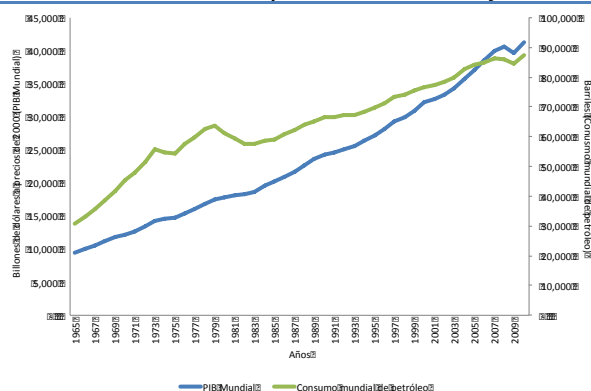
Asimismo se presenta en diferentes formas como calor, electricidad, luz, movimiento, etc. y se mide en diferentes unidades, dependiendo de su tipo, es decir, en barriles, toneladas, metros y pies cúbicos, litros, kilowatts-hora, entre otras y debido a la heterogeneidad de estas medidas, se pueden convertir a unidades de energía como el joule (definido como la cantidad de energía que se necesita para poder mover un kilogramo de masa en una distancia de un metro con una aceleración de un metro por segundo al cuadrado. En esta medida se pueden utilizar prefijos métricos como exa (10^{18}), peta (10^{15}), tera (10^{12}), giga (10^9), mega (10^6) y/o kilo (10^3)), kilocalorías, toneladas equivalentes de petróleo, unidades térmicas británicas, etc., para poder realizar comparaciones entre diferentes combustibles.

Los energéticos se dividen en dos grandes grupos:

- (1) *Energía primaria*: Conformada por el carbón mineral, el petróleo crudo, los condensados, el gas natural asociado, el gas no asociado, el bagazo de caña, la leña, la energía eólica, la hidroenergía, la nucleenergía y la geoenergía que se obtienen directamente de la naturaleza o mediante procesos de extracción que son utilizados para consumirse en forma directa o para generar productos secundarios.
- (2) *Energía secundaria*: Son los energéticos primarios transformados para ser utilizados en el consumo final. Entre los energéticos más importantes están el coque de petróleo, el coque de carbón, el gas licuado de petróleo, las gasolinas y naftas, los querosenos, el diesel, el combustóleo, el gas natural y la electricidad.

las economías, medidos principalmente por el PIB y/o PIB per cápita. Un ejemplo se representa en la Gráfica 1.6, donde las tendencias a nivel mundial son crecientes en el consumo de energía y el PIB.

Gráfica 1.6
Evolución histórica del PIB mundial y el consumo mundial de energía (petróleo crudo): 1965 – 2010
(Billones de dólares a precios de 2000 y barriles)



Fuente: Elaboración propia con información del Banco Mundial (WB) y British Petroleum (BP).

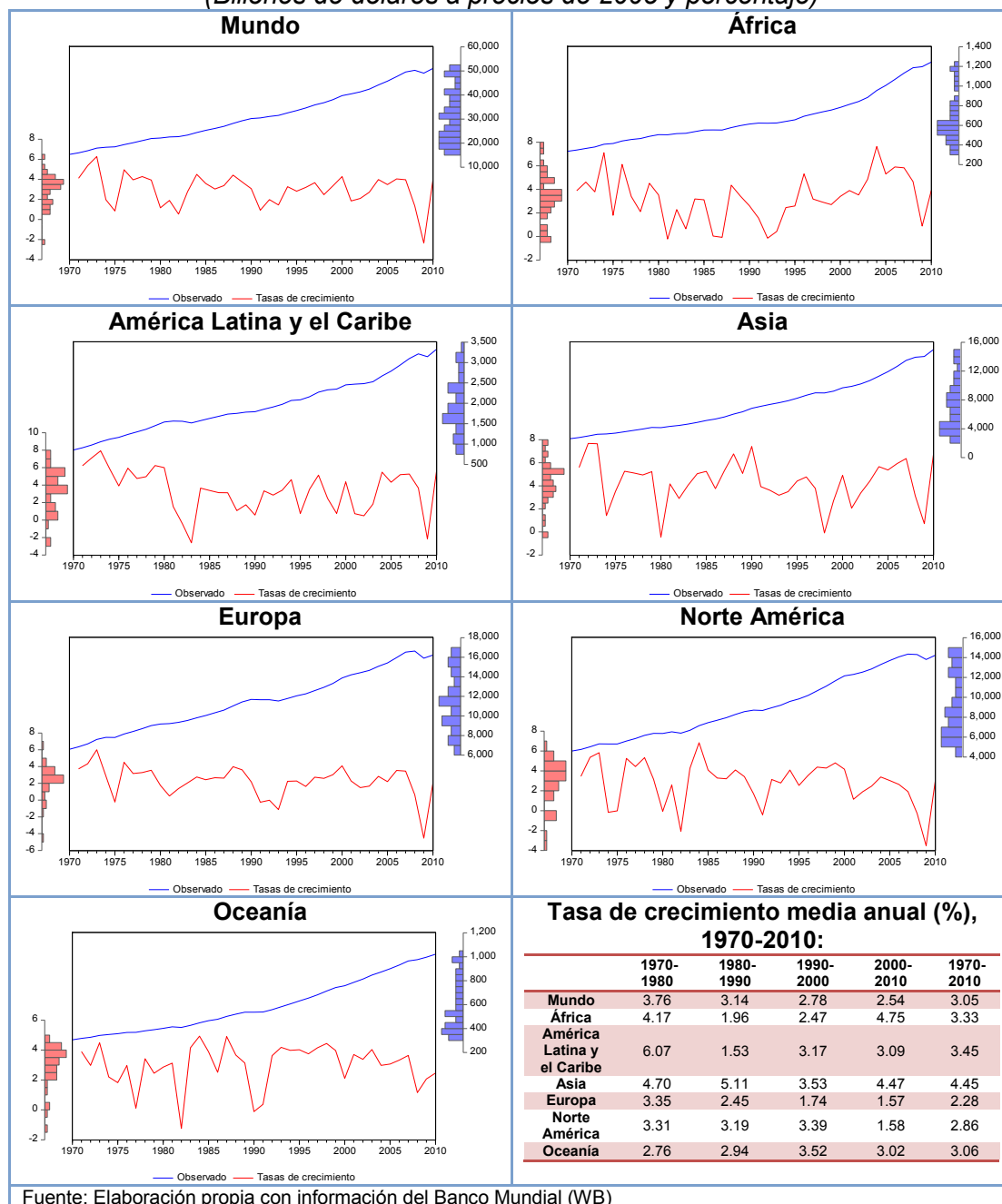
En las trayectorias del PIB de 1970 a 2010 a nivel mundial y por regiones se aprecian tendencias crecientes (ver Gráfica 1.7). Se destaca la tasa de crecimiento mundial se ubica alrededor de 3%. En las recesiones de la década de los noventa y los años dos mil las tasas fueron de 2.78 y 2.54% respectivamente.

En América del Norte, a pesar de sus recesiones, se ha mantenido en una tasa de crecimiento promedio de 3%. Por otro lado, el conjunto de los países europeos han tenido tasas de crecimiento muy bajas de 2%, en comparación con la región asiática que ha mantenido tasas arriba del 4 por ciento.

En América Latina y el Caribe, debido a las recisiones y crisis de la década de los ochenta, se creció 1.53% en comparación con la década anterior, donde alcanzó una tasa de crecimiento media anual del 6%. En las últimas tres décadas, el crecimiento económico de la región ha superado ligeramente el 3 por ciento.

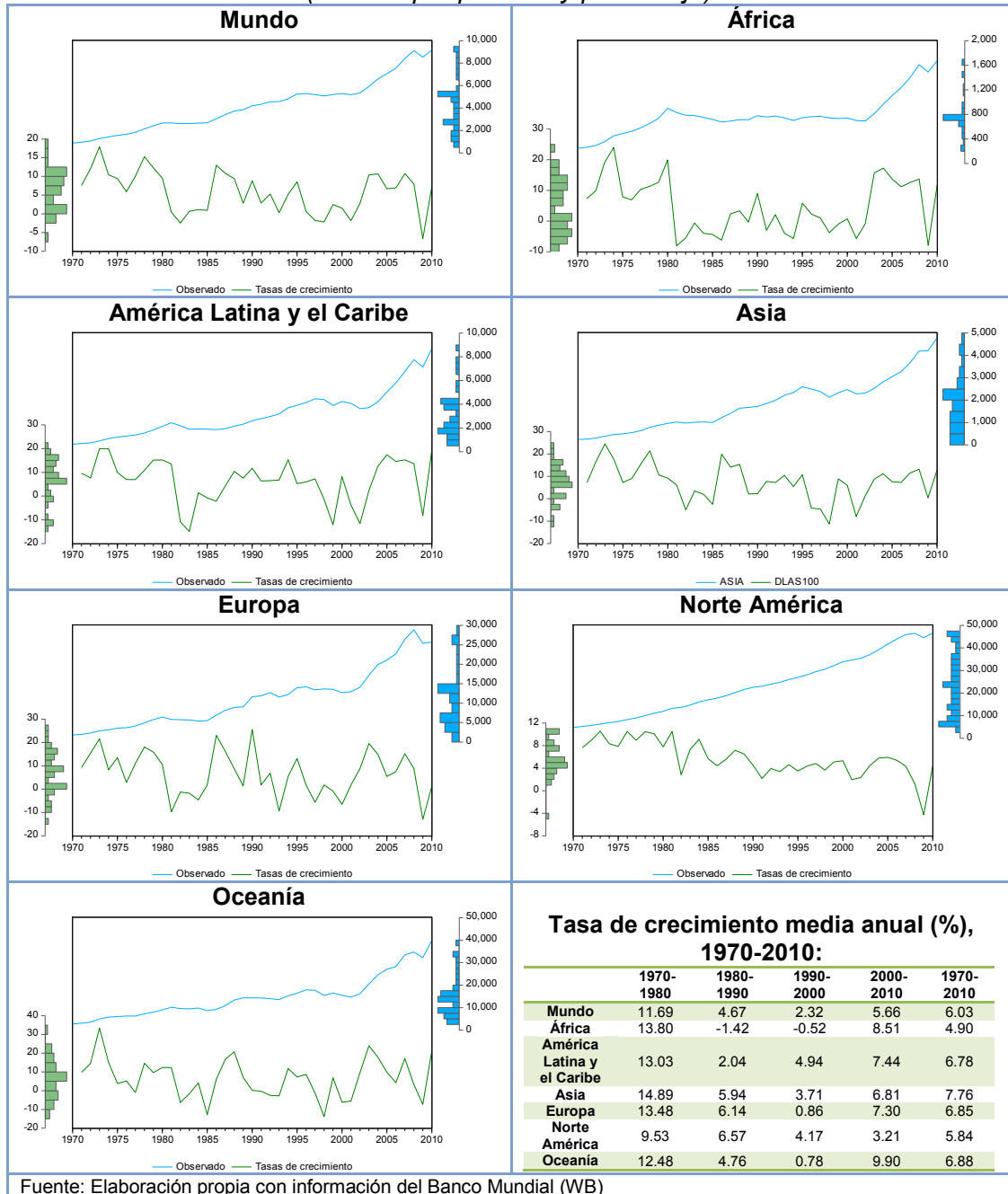
En general, estos resultados muestran que en las últimas décadas, el crecimiento económico mundial ha estado pasando por diversas adversidades que han provocado inestabilidad macroeconómica en la mayoría de los países.

Gráfica 1.7
Trayectorias y tasas de crecimiento del PIB mundial y por regiones: 1970 – 2010
(Billones de dólares a precios de 2005 y porcentaje)



En la trayectoria del PIB per cápita a nivel mundial (ver Gráfica 1.8) se observa una reducción desde los años setenta de 11.7 a 5.6% destacando la pérdida de valor que ocurrió en los años noventa. En el caso de las regiones, las crisis y las desaceleraciones económicas de los años ochenta y noventa, perjudicaron demasiado el comportamiento del PIB per cápita como lo indican sus tasas de crecimiento medias anuales.

Gráfica 1.8
Trajectorias y tasas de crecimiento del PIB per cápita mundial y por regiones:
1970 – 2010
(Dólares por persona y porcentaje)



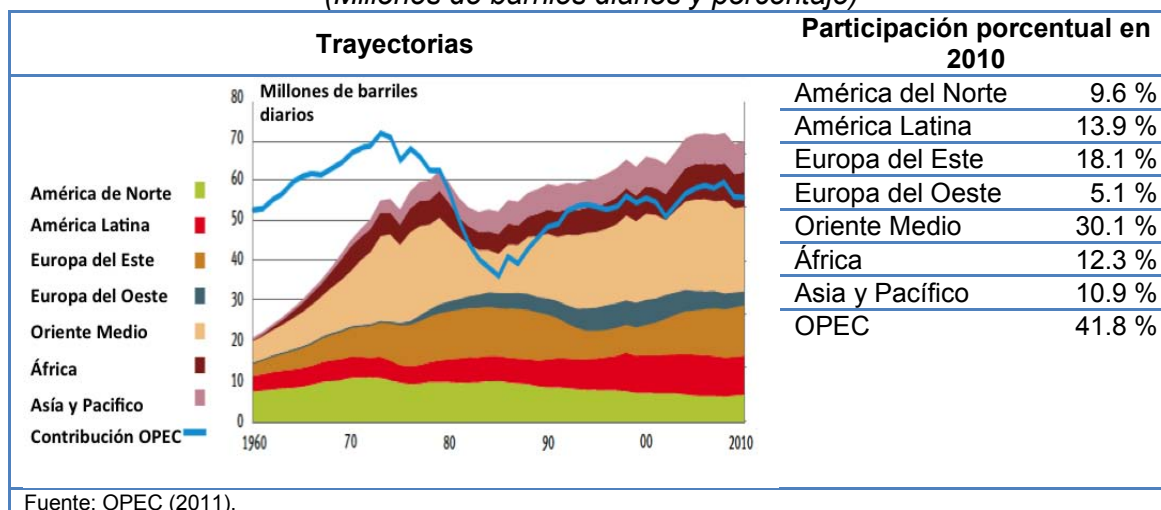
Fuente: Elaboración propia con información del Banco Mundial (WB)

De acuerdo con la información de la Gráfica 1.9, existe una relación entre la energía y el producto a nivel regional de 1960 a 2010. Se muestra que la producción mundial de petróleo alcanzó cerca de 79 millones de barriles diarios (m/b/d). La región Oriente Medio contribuye más en la producción con cerca del 30% (21 m/b/d). Esto favorece a los ingresos obtenidos por la venta de petróleo a diversos países de esa región que

frecuentemente están en riesgo debido al comportamiento de los precios del barril de petróleo¹¹.

El resto de regiones presentan participaciones relativamente similares (Europa del Este con 18.1%, América Latina con 13.9% y África con 12.3%) en comparación con países del Oriente Medio, haciendo más heterogéneo el mercado de petróleo. Sin embargo, el grupo de países que conforman la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, por sus siglas en inglés) aportan cerca del 42% de la producción mundial.

Gráfica 1.9
Producción mundial de petróleo crudo por regiones: 1960 – 2010
(Millones de barriles diarios y porcentaje)



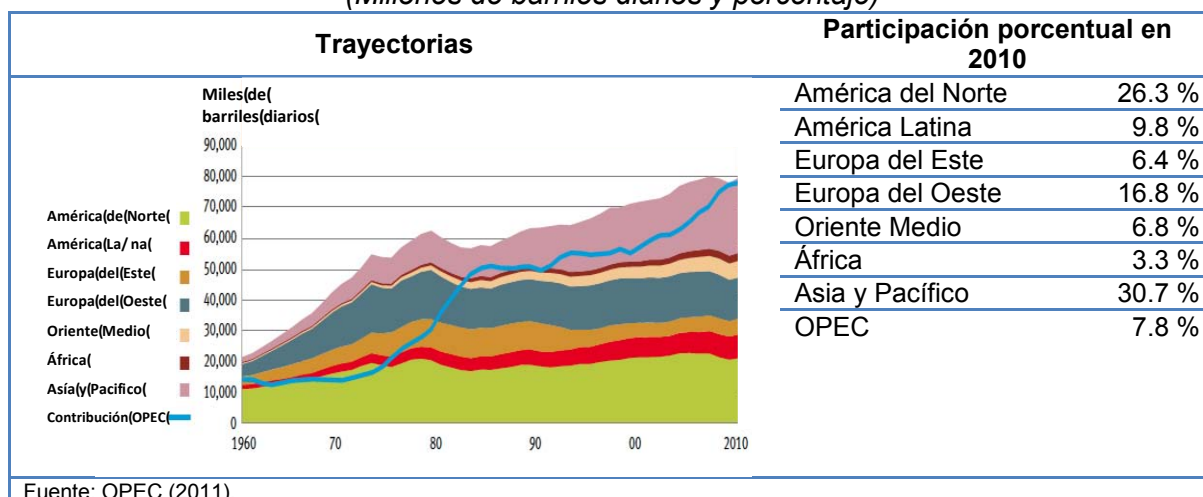
Las modificaciones en los patrones de producción y consumo, así como las relaciones que existen entre los energéticos y otros indicadores macroeconómicos en el mercado mundial, han obligado a la existencia de un nuevo orden económico internacional, donde existe un sesgo importante en la distribución de los recursos e ingresos hacia los sectores de altos niveles de ingreso e incrementando más la brecha con los sectores de ingreso muy bajos.

En el año 2010, el consumo de los productos refinados del petróleo señala que Asia y Pacífico (30.7%), Norte América (26.3%) y Europa del Oeste (16.8%) son las regiones que consumen más productos (gasolinas, gas licuado de petróleo, diesel, querosenos,

¹¹ Los precios de los energéticos (destacando el petróleo y el gas natural) son relevantes porque contribuyen en el desempeño de las economías al ser un indicador importante a nivel macroeconómico. Tienen una fuerte relación con el PIB y al mismo tiempo, son determinantes claves del comportamiento de la inflación y el desempleo. Sus impactos afectan los ingresos derivados de su producción y venta de los países netamente exportadores y a su vez, tienen un impacto negativo en países netamente importadores de energéticos (Hooker, 1999).

turbosina, etc.) y que juntos representan una participación porcentual de 74% del consumo mundial. En ese mismo año, el consumo de estos combustibles llegó a ser 80,313 miles de barriles diarios (1,000/b/d) (ver Gráfica 1.10).

Gráfica 1.10
Consumo mundial de productos refinados del petróleo por regiones: 1960 – 2010
(Millones de barriles diarios y porcentaje)



Los comportamientos en las trayectorias son debido a que países como Estados Unidos, Japón, China, Australia, Alemania, Rusia, Reino Unido, Francia, Italia, España y Holanda son consumidores potenciales de energéticos primarios y secundarios. Por lo tanto, se genera una relación positiva con el funcionamiento de sus economías convirtiéndolas en las más importantes del mundo.

Desde los años setenta, el consumo de energía se ha incrementado significativamente en países con diferentes tipos de ingreso, principalmente los que exportan petróleo debido a los recursos monetarios recabados que pueden financiar los gastos públicos, la innovación tecnológica y pagar deudas internas y externas. La oferta de petróleo es controlada por unos cuantos países que fijan los precios internacionales, siendo la principal razón de las crisis energéticas en los años setenta y ochenta y que actualmente sigue generando desequilibrios económicos.

En el Cuadro 1.1 se muestra la participación porcentual de la oferta y el consumo de la energía primaria para los años 1973 y 2011, tanto por tipo de energético como por región. La información disponible muestra que, en 1973, la oferta de petróleo, carbón y gas natural era del 87% de su participación porcentual y para el año 2009 esta participación ha disminuido 6 puntos porcentuales. Esto es debido a que en años recientes la producción y suministro de otros tipos de energía han aumentado, por

ejemplo, la energía nuclear que tuvo una tasa de crecimiento media anual de 7.3%. Además, se destaca que China incrementó su participación de 7 a 18.7% debido al auge económico que ha tenido en recientes años.

Los resultados del consumo de energía primaria presentan una estabilidad en las proporciones, con excepción del caso del consumo de petróleo que disminuyó 7 puntos porcentuales de su participación en el total mundial y que el consumo de electricidad paso de 9.1 a 17.3%, es decir de 425.3 a 1,445.1 millones de toneladas de petróleo equivalentes (Mtoe) equivalentes a una tasa de crecimiento media anual de 3.5% durante este período de 36 años. En el año 2009 el consumo total a nivel regional se han incrementado la participación porcentual en Asia, China, América Latina, África y Oriente Medio. Sólo en los países que conforman la OCDE y Europa y Eurasia muestran una disminución en su participación porcentual de 17.5 y 5.4 en comparación con 1973. En el caso de los bunkers se ha mantenido prácticamente igual durante estos años de análisis.

Cuadro 1.1
Participación porcentual de la oferta y consumo de energía primaria mundial por energético y por regiones: 1973 y 2009
(Millones de toneladas de petróleo equivalentes)

	1973		2009	
	Oferta (6,111 Mtoe)	Consumo (4,674 Mtoe)	Oferta (12,150 Mtoe)	Consumo (8,353 Mtoe)
Energéticos:				
Petróleo	46.0 %	48.1 %	32.8 %	41.3 %
Carbón	24.6 %	13.7 %	27.2 %	10.0 %
Gas natural	16.0 %	14.0 %	20.9 %	14.2 %
Biocombustibles y residuos	10.6 %	13.2 %	10.2 %	12.9 %
Hidroenergía (Oferta) / Electricidad (Consumo)	1.8 %	9.1 %	2.3 %	17.3 %
Energía Nuclear	0.9 %	-	5.8 %	-
Otros*	0.1 %	1.6 %	0.8 %	3.3 %
Regiones:				
África	3.4 %	3.7 %	5.5 %	6.0 %
América Latina**	3.5 %	3.6 %	4.4 %	4.9 %
Asia***	5.6 %	6.4 %	12.0 %	12.3 %
China	7.0 %	7.9 %	18.7 %	17.3 %
Bunkers****	3.0 %	3.9 %	2.7 %	3.9 %
OCDE	61.3%	60.3 %	43.3 %	42.8 %
Europa y Eurasia *****	15.4 %	13.5 %	8.6 %	8.1 %
Oriente Medio	0.8 %	0.7 %	4.8 %	4.7 %

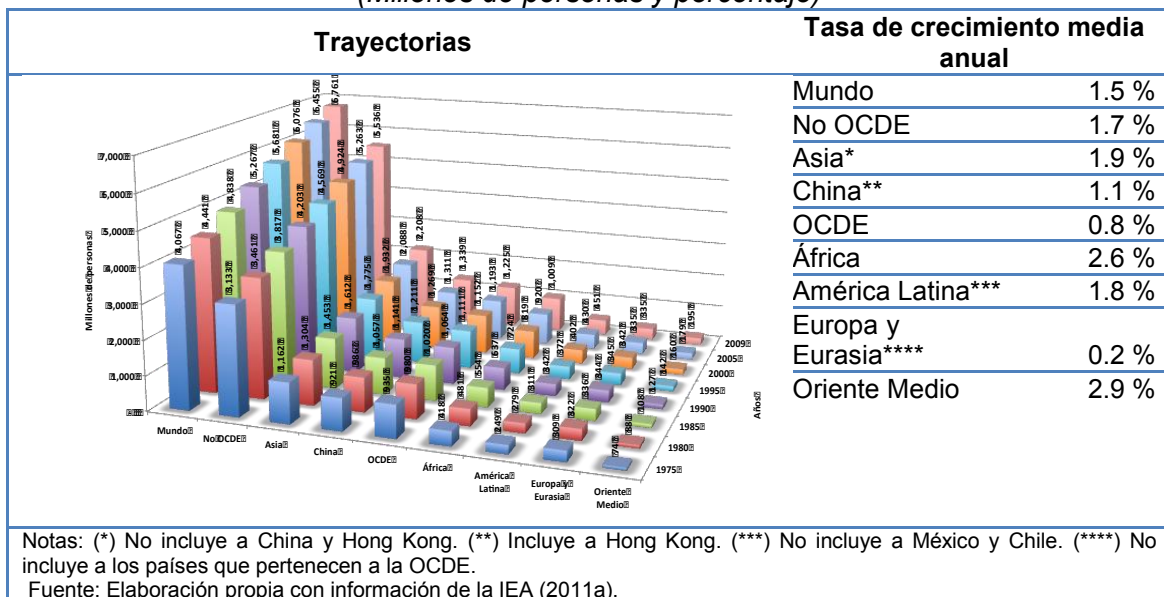
Notas: Mtoe = Millones de toneladas de petróleo equivalentes. (*) Incluye energía geotérmica, solar, eólica, calórica, etc. (**) No incluye a México y Chile. (***) No incluye a China. (****) Incluye aviación internacional y bunkers marinos internacionales. (*****) No incluye a los países que pertenecen a la OCDE.

(2) La dimensión social: En esta dimensión el rol de la energía se convierte en el principal prerrequisito para satisfacer las necesidades humanas básicas como son la alimentación, el agua, la salud, la educación, la vivienda, el empleo y otros servicios.

La disponibilidad de energía puede determinar la cantidad de alimentos, la cocción, los impactos en la salud, así como la calefacción y electricidad de los hogares. En ese mismo sentido se encuentra la relación entre la energía y la pobreza donde hay una importante correlación entre indicadores sociales y el uso de combustibles (Goldemberg y Johansson, 1995).

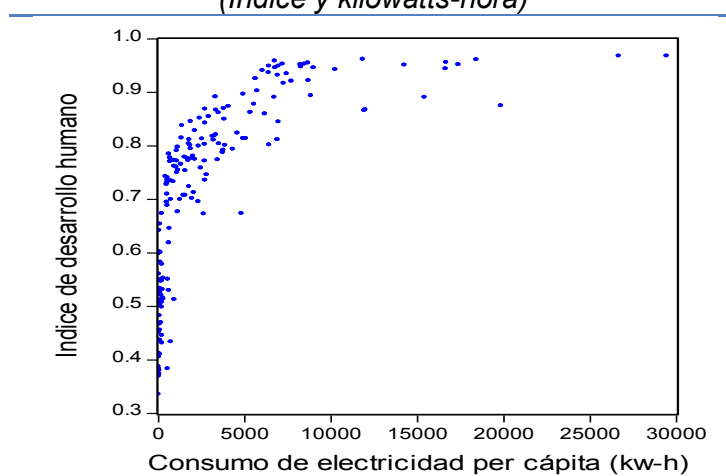
El comportamiento de la población es un aspecto relevante en esta dimensión porque determina la cantidad de recursos demandados para cubrir sus principales necesidades. Entonces, en la Gráfica 1.11, se muestran importantes incrementos en la población mundial pasando de 4,067 millones a 6,761 millones de personas en 34 años que equivale a un crecimiento medio anual de 1.5 en términos porcentuales. En el Oriente Medio, África, Asia y América Latina se registran las mayores tasas medias de crecimiento con 2.9, 2.6, 1.9 y 1.8% respectivamente. Las trayectorias muestran que el aumento de la población, principalmente en las regiones menos desarrolladas, es un factor relevante que genera presión sobre los recursos naturales y sobre las emisiones de GEI.

Gráfica 1.11
Población mundial y tasas de crecimiento medio anual: 1975 – 2009
(Millones de personas y porcentaje)



El Índice de Desarrollo Humano (IDH)¹² y el consumo de electricidad per cápita para 177 países en el año 2010, es un indicador que enseña que hay una correlación fuerte cuando el país tiene un IDH más alto debido a que su consumo de electricidad per cápita va a ser mayor comparado con países que tienen dificultades para cubrir sus necesidades básicas, y que en consecuencia, registran un índice mucho más bajo (ver Gráfica 1.12).

Gráfica 1.12
Correlación mundial entre el Índice de Desarrollo Humano y
el consumo de electricidad per cápita: 2010
(Índice y kilowatts-hora)



Fuente: Elaboración propia con información de British Petroleum (BP) y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) (2010).

Cifras oficiales indican que más de dos mil millones de personas no pueden acceder a combustibles limpios y seguros, por lo que utilizan leña y residuos agrícolas para llevar a cabo actividades y cubrir sus necesidades. La dificultad en el acceso a combustibles más eficientes es un factor determinante que complica el desarrollo social (Modi *et al.*, 2006).

El aumento del consumo mundial de energía está determinado prácticamente por países industrializados a través del uso de tecnologías. Estos países representan entre el 10 y 15 por ciento de la población mundial.

El resultado de lo anterior, es una segmentación en los tipos de energéticos, ya que sectores de la sociedad con ingresos medios y altos predominan en la producción y

¹² El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un indicador creado por la UNDP en 1990, que busca conocer el nivel de bienestar social de cada país a través del cumplimiento y mejora de sus necesidades básicas mediante el aumento de bienes y esta compuesto por la esperanza de vida al nacer, tasas de alfabetización, la tasa bruta de matriculación en educación y el PIB per cápita PPA medido en dólares (UNDP, 2010).

consumo de petróleo, gas y electricidad. En cambio, las sociedades con los ingresos más bajos dependen en mayor medida de la biomasa (Holdren, 1992).

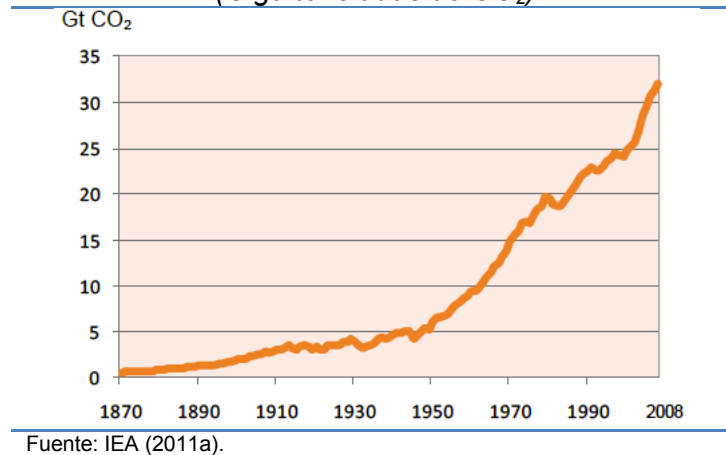
Por lo tanto, con esta dimensión se busca que los tomadores de decisiones de política pública vayan más allá, teniendo en cuenta las opciones, la distribución, la calidad y la cantidad de energéticos que existen en determinadas sociedades con el objetivo de lograr la cobertura de necesidades básicas y por ende se encaminen al crecimiento y desarrollo sustentable.

(3) La dimensión ambiental: Indica que el uso de energéticos es la principal fuente de stress ambiental a nivel global como local (Munasinghe, 2002). Esta relación energía-medio ambiente está determinada por la extracción y producción de los combustibles y la calidad ambiental. Como ejemplos están la explotación y la extracción de petróleo y gas natural que generan desechos peligrosos y tóxicos afectando los ecosistemas (Najam y Cleveland, 2003).

La extracción y quema de combustibles fósiles han ocasionado que el sector energético contribuya con cerca del 85% de las emisiones de GEI, principalmente de CO₂ (IEA, 2003). Diversos estudios señalan que las emisiones de GEI del sector energético se pueden incrementar 70% aproximadamente para el año 2030 al mantener los niveles actuales de emisiones, generando fuertes impactos ambientales e incrementando los efectos nocivos del Cambio Climático a nivel global (Stern, 2007; Houghton y Hackler, 2001; Stern y Kaufmann, 1996).

La demanda de combustibles fósiles y sus emisiones de CO₂ se han incrementado exponencialmente desde la revolución industrial hasta la actualidad. Desde la década de los años cincuenta hasta 2008 se registró un aumento de 5 a 33 giga toneladas de CO₂ (GtCO₂) que equivale a una tasa media de crecimiento anual de 3.3% (ver Gráfica 1.13).

Gráfica 1.13
Tendencia mundial de las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles:
1870 – 2008
(Giga toneladas de CO₂)



La evidencia empírica ha determinado que las emisiones tienen una relación importante con respecto a los cambios estructurales en las series económicas, el perfeccionamiento tecnológico, la modificación en los precios de los energéticos, el incremento del gasto público, el uso de energía alternativa y el crecimiento económico (Dinda, Coondoo y Pal, 2000).

La energía y la tecnología son fundamentales para el abastecimiento del servicio energético y el funcionamiento correcto y eficiente de las dimensiones de desarrollo sustentable sobre diversas actividades económicas, generando empleo mediante técnicas nuevas de producción y favorecen la capacitación del capital humano.

La eficiencia energética¹³ es un factor destacable en el uso de la tecnología y el control del consumo de combustibles. Así también, contribuye en la disminución de los efectos del calentamiento global.

Investigar, desarrollar e insertar nueva tecnología en el mercado es un proceso complejo tanto científica como económicamente, es decir, debe haber una modificación en las bases científicas, además de la existencia de nuevos materiales, bioprocesos y nanotecnologías que ayuden a reducir los costos para utilizar tecnologías más limpias. Las nuevas tecnologías que se pongan en el mercado realizarán un proceso de conocimiento, funcionamiento y evaluación de los

¹³ Se define como el conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía o también como la capacidad para lograr mejores beneficios en el uso final de la energía y el menor impacto sobre el medio ambiente; además de que ayuda a llevar a cabo diversas políticas de mitigación de GEI (IEA, 2003).

inversionistas, así como analizar si cumplen con las políticas y medidas ambientales internacionales (IEA, 2003).

El uso de nuevas alternativas disminuirá los costos para generar energéticos, aumentar su oferta, incrementar la rentabilidad en los procesos de producción y disminuir de las emisiones. El uso de estos nuevos energéticos dependerá de los costos de adquisición junto con otro tipo de energías como las fósiles o las nucleares, dependiendo de las condiciones económicas, geográficas y climáticas para su efectiva distribución (IEA, 2003).

Actualmente muchos países han estado adoptando de manera paulatina las diferentes tecnologías y políticas energéticas planteadas por el *Protocolo de Kioto* (PK), y en algunos casos ha aumentado la eficiencia energética, es decir, existe información que indica que la eficiencia de más de dos terceras partes de 70 países se ha incrementado cerca de 1.6% de 1990 a 2006, destacando la región Europea, Norte América y Asia (particularmente China).

Estos aumentos se deben a una mejor eficiencia en el uso de carbón en lugar de petróleo, a la reestructuración de las industrias y a los aumentos en los precios de los energéticos. Modificar la intensidad energética ha necesitado de menos de 4.4 giga toneladas de petróleo equivalentes (Gtoe) disminuyendo cerca de 10 giga toneladas (Gt) de emisiones de CO₂ (World Energy Council, 2008).

Es importante mejorar la eficiencia energética para cambiar las condiciones ambientales y de producción a través de reducir costos. No obstante, esto ha tenido una controversia relevante en los casos de los países pobres a causa de las situaciones complicadas por las que se enfrentan, debido a que no cuentan con energéticos baratos, además de la falta de inversión y tecnología.

Por lo que se ha optado por generar tecnología que pueden ser utilizados por las personas con ingresos bajos y aumentar su eficiencia energética y así también contribuir en la disminución de las emisiones de GEI.

1.4 El desarrollo sustentable y las cumbres mundiales sobre cambio climático

Se han llevado a cabo tres Cumbres Internacionales para definir la política sobre energía y desarrollo sustentable. La primera Cumbre se realizó en Estocolmo, Suecia,

del 5 al 16 de Junio de 1972, donde se reunieron 113 países para discutir el futuro del planeta.

Fue la primera reunión, en la que se registró una importante presencia e influencia por parte de los sectores privados, incluidos las organizaciones no gubernamentales (ONG) y académicas. Además se buscó que la política se enfocara hacia la búsqueda del consenso mundial sobre cuestiones relacionadas con el medio ambiente.

El resultado principal de esta Cumbre fue la creación del “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente” (PNUMA) y se presentaron dos documentos: “Declaración de Estocolmo” y el “Plan de Acción de Estocolmo” que fueron las bases para las Cumbres de Río de Janeiro y Johannesburgo.

En el “Plan de Acción de Estocolmo” se hicieron tres recomendaciones relacionadas con el uso de la energía: (1) “La Recomendación 57” que busca garantizar la correcta recopilación, medición y análisis de datos relativos a los efectos ambientales del uso de la energía en la producción; (2) “La Recomendación 58” que examina el mejor intercambio de información sobre energía; y (3) “La Recomendación 59” donde se solicita un informe sobre fuentes de energía y tendencias de consumo. En consecuencia, el documento es una base para el desarrollo de los recursos energéticos, teniendo en cuenta los efectos ambientales de su producción y su uso.

En 1979, en Génova, se realiza la “Primera Conferencia Mundial” sobre Clima y se considera por primera vez al Cambio Climático como una amenaza mundial convocando a los países a prevenir y evitar en mayor medida los impactos que puedan ocurrir en el clima provocados por la actividad humana.

Se estableció el “Programa Mundial sobre el Clima” que buscó la cooperación internacional en la investigación y la localización de aspectos climáticos, como el agotamiento del ozono y el calentamiento global; mejorar la planificación económica y social con el apoyo de información climática mediante la investigación y desarrollo tecnológico.

En 1988, se crea el IPCC y dos años más tarde se presenta su “Primer Reporte”¹⁴ y al mismo tiempo se celebra la “Segunda Conferencia Mundial Sobre Clima” donde se

¹⁴ El IPCC ha presentado 5 Informes de Evaluación en los años 1990, 1995, 2001, 2007 y 2014.

hace un llamado mundial para combatir al Cambio Climático. Posteriormente, en 1991 se realiza la “Primera Reunión del Comité Intergubernamental de Negociación (INC)”.

La segunda Cumbre, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se conoce como la “Cumbre de la Tierra”, la cual tuvo éxito por la consideración, a nivel internacional, de los problemas ambientales y la búsqueda del desarrollo sustentable.

Aumentó el interés público en el medio ambiente teniendo como problemáticas de relevancia el agotamiento del ozono estratosférico y el Cambio Climático mundial y que fueron consideradas en la política internacional. Asimismo, el uso exagerado de los energéticos, se había convertido en una nueva preocupación para la seguridad económica, debido los shocks en los precios del petróleo ocurridos en 1973-74 y 1980-81.

Las metas planteadas en esta Cumbre fueron más precisas, buscando la aplicación de políticas energéticas con la meta de reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética, mediante el uso de tecnologías y combustibles más limpios.

En 1994, el INC se convierte en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y al siguiente año se realiza la “Primera Conferencia de Partes (COP 1)”¹⁵.

En la “Tercera Conferencia de Partes en Kioto (COP 3)” de diciembre de 1997, los representantes de 141 países acordaron el llamado “Protocolo de Kioto” (PK) que busca mitigar las emisiones de gases mediante la realización de profundos cambios en la producción y en el uso mundial de los energéticos.

Uno de los varios objetivos planteados de la COP 3 fue controlar las emisiones de los GEI que han ocasionado el calentamiento global, y hasta la fecha ha sido ratificado por 163 países.

El Protocolo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, con el objetivo de que los países industrializados, entre los que destacan los que conforman la Unión Europea, Canadá, Japón, Nueva Zelanda y Rusia, reduzcan las emisiones de GEI en 5.2% de 2008 a 2012 con relación a las emisiones registradas en 1990.

¹⁵ La información en este apartado referente con las Conferencias de Partes (COP) fue obtenida del sitio web: <http://unfccc.int/2860.php>

Este acuerdo impone para 39 países, considerados desarrollados, y que no afecta a los países en vías de desarrollo como Brasil, India o China, el control o reducción de sus emisiones de GEI. Se destaca que Estados Unidos, el país que emite la mayor cantidad de gases invernadero en el mundo, ha desconocido el Protocolo argumentando que las medidas tomadas son ineficaces y que afectan el desempeño de la economía mundial.

Según el PK, para reducir las emisiones, se tomaron en cuenta las que fueron generadas en 1990, de tal forma que los países que obedezcan el Protocolo deberán reducir sus emisiones en un 8%. Para verificar el cumplimiento calculará el promedio de las emisiones desde el año 2008 hasta el 2012.

Con el PK muchos países han acordado reducir sus emisiones de GEI a través de tres maneras: (1) Plantear metas conjuntas, (2) Realizar comercio de emisiones y (3) Usar los Mecanismos de Desarrollo Limpios (MDL).

Los MDL son más flexibles y con bajos costos, tanto en el interior de los países como en el exterior, debido a que busca llevar a cabo la mitigación mediante proyectos que favorezcan el avance tecnológico en la producción y en el uso de la energía, así como la sustitución de algunos energéticos por otros más eficientes.

En 2001, se publica el “Tercer Informe de Evaluación del IPCC”, donde se establecen los “Acuerdos de Bonn”, que están basados en el “Plan de Acción de Buenos Aires” de 1988.

Se adoptan los “Acuerdos de Marrakech” en la COP 7, los cuales detallan las reglas para la aplicación del PK, la creación de nuevos fondos, la creación también de instrumentos de planificación y los enfocados a la adaptación, y el establecimiento de un marco de transferencia de tecnología.

En 2002, en Johannesburgo, Sudáfrica, se realizó la “Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible” donde se tomaron medidas importantes trazando objetivos y plazos para el cumplimiento de dichas metas propuestas entre autoridades gubernamentales y empresas privadas.

En comparación con Cumbres anteriores, se incorporó la parte social dentro de la política energética con el objetivo de que el desarrollo sostenible facilitaría el acceso a la energía y con ello, se disminuirían los índices de pobreza tratando de que las sociedades cumplieran con las necesidades humanas básicas.

La entrada en vigor del PK en 2005 es el inicio para comenzar las negociaciones para las siguientes fases. Dos años después en la COP 13, las Partes agregan el Mapa de Ruta hacia Bali que traza un escenario post-2012 en dos líneas de trabajo: el “Grupo de Trabajo *Ad Hoc* sobre Compromisos Futuros para las Partes del Anexo I con arreglo al PK (AWG-KP)” y el “Grupo de Trabajo *Ad-Hoc* de Largo Plazo Marco de la Convención”.

En la COP 15 de Copenhague de 2009, los países representantes muestran sus promesas de reducción de emisiones y compromisos de acción de mitigación.

En 2010, en la COP 16 se elaboran y se aceptan en gran medida los “Acuerdos de Cancún” donde se llevaron a cabo importantes logros en la definición de metas, la reducción de emisiones, la transferencia de tecnología, el financiamiento y el mecanismo REDD+¹⁶, la conservación forestal, el manejo sostenible y el mejoramiento del stock de carbono de los bosques en los países en desarrollo.

También se establecieron y se ratificaron esfuerzos de mitigación unilaterales para reducir el CO₂ como lo plantea el PK. Un aspecto relevante en esta COP fue la creación de mecanismos para que los países en desarrollo puedan contar con tecnologías verdes buscando una economía baja en carbono.

Los acuerdos de la COP 17 en 2011 fueron moderados en comparación con la COP anterior, aún así siguen siendo relevantes, debido a que se mejoró y aceptó la “Plataforma de Acción de Durban” que marca un camino para negociar un acuerdo de reducción de emisiones universal con nuevas leyes para el año 2015, que serán aprobadas en 2020.

Además, se logró la extensión del PK por un segundo periodo de compromisos del 1 de enero de 2013 hasta finales de 2017 buscando como objetivo realizar esfuerzos de mitigación de todos los países bajo un mismo acuerdo y donde también se puso en marcha un programa de trabajo que aumente la ambición de mitigación colectiva.

¹⁶ La meta de REDD+ es reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal.

Se establecieron acuerdos para la creación del “Fondo Verde Climático” que busca movilizar recursos por 100 mil millones de dólares anuales a través de financiamientos públicos y privados para poder ayudar a que los países pobres se adapten al Cambio Climático. También se acordaron medidas para poder preservar los bosques tropicales e impulsar el desarrollo de energías limpias.

En la COP 18 en Doha, Qatar en 2012, se tomaron decisiones como la suscripción de un segundo período de compromisos bajo el Protocolo de Kyoto con una duración de ocho años (2013-2020) y 36 países acordaron compromisos de reducción de emisiones en cantidades no menores a 18% con respecto a las emisiones de 1990.

En Varsovia, Polonia, en 2013, se ha llevado a cabo la COP 19 donde se presentaron acuerdos importantes como el financiamiento del Fondo de Adaptación el cual obtendrá recursos por más de 100 millones de dólares por parte de los países desarrollados con el objetivo de financiar los proyectos de las naciones en cuestión a los procesos de adaptación al Cambio Climático.

Se establecieron nuevos mecanismos que protegerán los bosques tropicales y detener la deforestación con el objetivo de aumentar la absorción de CO₂. El financiamiento estará a cargo de Estados Unidos, Noruega y Gran Bretaña con cerca de 280 millones de dólares. También se aprobó un conjunto de planes por parte de 48 naciones más pobres que podrán evaluar mejor los efectos del Cambio Climático para poder tener una mayor resiliencia a dichos impactos. Asimismo, se estableció la base para un acuerdo vinculante entre 200 naciones participantes que se realizará en el 2015 en la COP de París.

Finalmente en la COP 20, celebrada recientemente en Lima, Perú, se estableció el borrador conocido como “Llamado de Lima para la Acción Climática” para preparar el trabajo que se realizará en 2015 en París; además se destacan los logros en esta cumbre como son: la existencia de un compromiso de los países para reducir las emisiones y que será ratificado en la COP 21 en París mediante las Contribuciones Intencionalmente Determinadas (Intended Nationally Determined Contributions) (INDCs) que proporcionen información cuantificable acerca de un año de base, los plazos y periodos de implementación, el alcance y la cobertura, procesos de planificación, supuestos y enfoques metodológicos y las estimaciones de las emisiones GEI, así como objetivos de reducción para el conjunto de los sectores

económicos; el fortalecimiento del Fondo Verde para financiar la adaptación al Cambio Climático; aprobación del plan de trabajo sobre el proyecto “Pérdidas y Daños”; y ratifica el apoyo financiero a los países en desarrollo, principalmente a los más vulnerables para llevar a cabo sus acciones de mitigación y adaptación.

Las políticas y acuerdos planteados en los eventos que se han llevado a cabo y que han sido organizados por Naciones Unidas toman en cuenta una gran cantidad de estudios especializados, de los cuales muchos están basados en diversos escenarios.

Por lo tanto, es importante y necesario establecer bases con estricto rigor científico que planteen escenarios de emisiones de acuerdo con el comportamiento de las principales variables de las esferas ambientales, económicas y sociales y diseñar, proponer, discutir y aplicar políticas públicas que logren el beneficio común entre los países.

1.5 Conclusiones

La evidencia presentada por el IPCC en sus cinco Informes señala que en el mundo se han estado presentando incrementos considerables en las emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera, principalmente el CO₂ generando el Cambio Climático antropogénico el cual es cada vez más innegable.

Los efectos del calentamiento global de la Tierra han provocado modificaciones climáticas destacando aumentos extremos en la temperatura donde se pronostica que aumentará en promedio 4°C en el escenario menos pesimista al año 2100.

Asimismo, habrá variaciones en las precipitaciones; efectos negativos sobre la Criosfera y en consecuencia, se incrementará el nivel general de mar; se presentarán severos impactos en diversas especies animales provocando su migración hacia otros lugares, o en casos más extremos, su extinción, así como en las especies vegetales; se presentarán efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos e impactos severos en recursos como el agua y los alimentos. En general, este impacto ha provocado alteraciones en las composiciones sociales y en las actividades económicas de diversas regiones del mundo.

La actividad antropogénica ha desencadenado estas variaciones climáticas debido a que el crecimiento económico, la producción y uso de los energéticos tienen una

correlación alta debido a que sus trayectorias a lo largo de este siglo han sido ascendentes y con variaciones muy similares. Destacando que la energía es el principal motor de desarrollo, crecimiento y bienestar de las sociedades en la mayoría de los países.

Estados Unidos, China y los países de Europa son grandes consumidores de combustibles como el petróleo, carbón y gas natural, ya que han sido uno de los recursos principales en sus actividades económicas. Por otro lado, en recientes años, algunos países han estado dando un impulso significativo a sus actividades económicas mediante el uso de biocombustibles, la hidroenergía y la energía nuclear, siendo ésta última generadora de controversia debido a que varios países se abstienen de usarla por los peligros potenciales que de su uso genera.

Los registros indican que, en las últimas cuatro décadas, el crecimiento económico ha tenido importantes variaciones, destacando que a nivel mundial la tasa media de crecimiento anual ha sido de 3% aproximadamente.

Este crecimiento se ha llevado a cabo por el dinamismo que han presentado algunos países de Asia, debido a que en Norteamérica, Europa y América Latina y el Caribe, el crecimiento económico de sus países ha estado por debajo de sus expectativas y de su capacidad productiva.

La población mundial se ha incrementado considerablemente, pero a un ritmo menor que en décadas pasadas, es decir, actualmente la tasa de crecimiento medio anual mundial es de 1.5%, pero aun crecimientos relativamente bajos la presión por recursos es cada vez mayor debido a la composición de las sociedades y sus niveles de vida.

La relación entre el crecimiento de la población y de la actividad económica se refleja en el PIB per cápita que, tanto en el ámbito mundial y regional, ha estado disminuyendo en las últimas dos décadas a causa del desaceleramiento de la gran mayoría de las economías y a las diversas recesiones y crisis, principalmente financieras, que han impactado la parte productiva, generando efectos negativos en la población.

Debido a la gravedad de los diversos problemas mundiales se han estado replanteando ideas y medidas para poder contrarrestar los impactos nocivos y retomar

la discusión del desarrollo sustentable y transitar hacia economías más verdes¹⁷ organizando y llevando a cabo diversas Cumbres y/o Convenciones por parte de Naciones Unidas buscando la participación y el compromiso de los países, principalmente de los más desarrollados, para mitigar los severos impactos ambientales y ayudar a países que no pueden adquirir o cumplir con diversos objetivos.

Se han presentado avances significativos, pero aun no se han podido lograr las metas planteadas en un inicio por el PK, siendo Estados Unidos, país que desde el principio no ratificó el Protocolo, el que ha dificultado la aplicación de algunas de las posibles políticas ambientales y económicas.

¹⁷ El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) define una economía verde como aquella que lleva a mejoras en el bienestar humano y la equidad social, y al mismo tiempo reduce significativamente los riesgos ambientales y mejora la eficiencia en el uso de los recursos.

2.1 Introducción

El desempeño económico y energético y los impactos del Cambio Climático global sobre la región de América Latina y el Caribe se han convertido en un reto para cada uno de los países que componen la región, ya que durante décadas, han sido un abastecedor de recursos, tanto naturales como procesados para las principales economías del mundo.

La región ha sufrido inestabilidad económica durante las últimas tres décadas que se ha reflejado en el nivel de vida de sus sociedades, en la disminución de la actividad económica, en el atraso tecnológico y el constante uso de energéticos, principalmente los de origen fósil.

Por lo tanto, para desarrollar el análisis basado en la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) en América Latina y el Caribe, es importante llevar a cabo una revisión general de los principales indicadores macroeconómicos a nivel regional, sub regional y por país.

El objetivo de este capítulo es analizar el comportamiento de la actividad económica y energética, así como su relación con las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles. Asimismo, se revisará brevemente el auge que han tenido las energías renovables en la región, las cuales se pueden convertir en opciones para tratar de disminuir los impactos del Cambio Climático durante las siguientes décadas. En este sentido, los efectos hasta el momento se han vuelto relevantes en las agendas económicas, políticas y sociales y que de no combatirse afectará los niveles de vida de las personas y se crearán presiones adicionales sobre los recursos naturales.

2.2 El crecimiento económico y el uso de energía en América Latina y el Caribe

2.2.1 La apertura comercial

De acuerdo con los hechos históricos y el desempeño en los ámbitos económico, político y social ocurridos durante los siglos XIX y XX, la región de América Latina estaba destinada a ser un productor de alimentos y materias primas para los grandes centros industriales de los países desarrollados.

Debido a importantes conflictos entre naciones y a las crisis económicas, se motivó a que los países de América Latina y de otras partes del mundo tuvieran un impulso y lograran avanzar hacia la actividad industrial que beneficiara el progreso técnico y elevar el nivel de vida de la población (Prebisch, 1962).

El desempeño económico de América Latina ha estado relacionado siempre con la globalización¹⁸, la cual ha sido un factor relevante que determina el desarrollo o el atraso de los países y que se reflejan en la acumulación de capital, el progreso tecnológico, el comercio exterior, el crecimiento del producto, el empleo, la distribución de la riqueza y el ingreso.

Los efectos de la globalización, a través de las relaciones internacionales, permiten impulsar la transformación, el crecimiento y la integración interna; además fortalece la capacidad de decisión; pero, en caso de obtener respuestas no satisfactorias en la aplicación de las políticas económicas, se generan efectos que fracturan la realidad interna y se somete a decisiones que están fuera del control de los mismos países (Ferrer, 1998).

La evidencia señala que América Latina es la región que ha tenido un impacto mayor por la globalización mediante la diversificación y crecimiento del comercio exterior desde mediados del siglo XIX, debido a que atraía grandes cantidades de inversión de países industrializados y se convirtió en un importante proveedor en el mercado mundial, favoreciendo, de manera general, el crecimiento y desarrollo de la región reflejado en equilibrios macroeconómicos. A este periodo de crecimiento se le denominó "*crecimiento hacia fuera*".

Asimismo, fue impulsado el desarrollo económico que estaba definido de dos maneras: la primera consistía en un modelo exportador y su respectivo progreso técnico sin vincularse con el conjunto de la economía, como fue el caso de México; y la segunda consistía en que la actividad exportadora tenía dominio en las demás actividades económicas y sociales como se realizó en Argentina. Pero la debilidad de este tipo de crecimiento se evidenció cuando ocurrieron las dos guerras mundiales y la crisis de los años treinta.

¹⁸ La globalización tiene tres características principales: 1) Un cambio radical en la división internacional del trabajo con un peso mayor en las manufacturas y mayor cambio tecnológico; 2) La expansión transnacional de las empresas de los países centrales provocó mejores procesos productivos; y 3) El funcionamiento del sistema financiero mundial tuvo una dimensión especulativa nunca antes vista debido a la multiplicación de las corrientes de capitales en el corto plazo (Ferrer, 1998).

Posteriormente, a partir de la segunda posguerra y hasta mediados de los años setenta países de Europa Occidental, Japón y Estados Unidos comenzaron a reconstruirse, registrando tasas de crecimiento cercanas al 5% anual en promedio y tasas de 3.5% en sus ingresos per cápita, además de un importante desempeño en el avance tecnológico, principalmente en las ciencias y comunicaciones (Ferrer, 1998).

Esto generó un efecto positivo que incrementó las relaciones económicas internacionales aumentando los movimientos de capitales, los cambios en los regímenes cambiarios, las reducciones en las barreras arancelarias y no arancelarias, principalmente en las manufacturas, y la expansión de los mercados y fuentes de recursos y tecnologías. Además se realizaron préstamos entre los países industrializados y los países en desarrollo generando fuerte dependencia entre ellos con la finalidad de buscar estabilidad económica (Ferrer, 1998; Krugman y Obstfeld, 2001).

A partir de ese entonces, América Latina siguió creciendo de manera importante, desarrollando sus industrias, aumentando la urbanización y experimentando otras transformaciones estructurales. Pero la región comenzó a dejar pasar oportunidades y desafíos que eran exigidos por el comportamiento del mercado mundial¹⁹. En de esto ejemplo fue cuando las empresas extranjeras comienzan a ubicarse en sectores industriales complejos sin que se presentara una capacidad endógena de asimilación, transformación e innovación de tecnologías importadas por parte de la región.

Los años ochenta fueron conocidos como la *década perdida* para los países de América Latina y el Caribe, porque el crecimiento económico y la inversión se desaceleraron en comparación con lo registrado en la década anterior. La causa de esto fueron los pagos de deuda internacional y niveles elevados de inflación, siendo este último factor el que se tenía que controlar de forma inmediata, convirtiéndose en prioridad en la mayoría de las políticas públicas y teniendo efectos relevantes sobre la distribución del ingreso y el aumento en los niveles de pobreza (CEPAL, 2002).

La llegada de América Latina y el Caribe a los años noventa fue frágil, debido a los shocks financieros que provocaron mayor volatilidad en los ciclos económicos que afectaron los niveles de crecimiento obteniendo resultados insatisfactorios debido a que persistía un atraso en la dinámica en la productividad, la cual era pobre y

¹⁹ La participación de América Latina en el comercio mundial disminuyó de 14 a 5% de en 1945 a 1970 (Ferrer, 1998).

heterogénea, así como una escasa creación y difusión de tecnología. Esto se convirtió en las principales restricciones estructurales para el crecimiento y desarrollo económico y generando que las brechas del PIB y PIB per cápita fuera cada vez mayores con respecto a los países desarrollados (Bárcena, 2010).

Por lo tanto, en esa década se aplicaron medidas que lograron evitar más procesos inflacionarios y desequilibrios fiscales; así como un incremento en la participación de la región en los mercados financieros mundiales que provocó, en buena parte, la liberación de sus economías y que se reflejó en la apertura comercial²⁰.

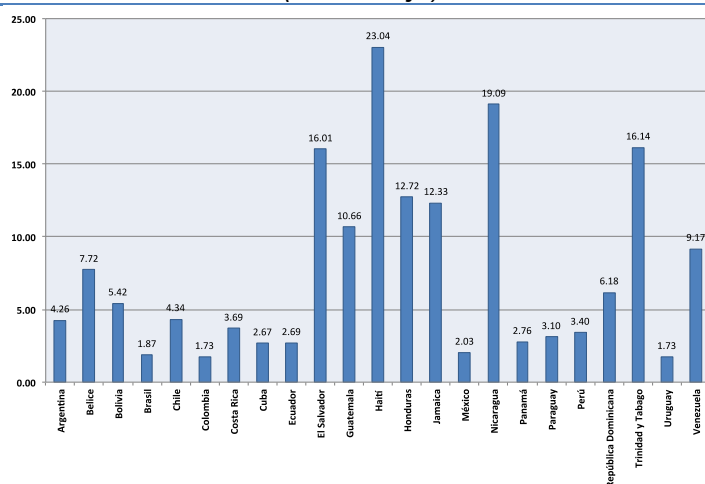
En la Gráfica 2.1 se observa que los países de la región de Centroamérica y algunos del Caribe, han tenido los mayores porcentajes de apertura comercial durante dos décadas con un rango de 10 a 23% aproximadamente. Por otra parte, los países sudamericanos se ubican en un promedio de 2.5%, con excepción de Venezuela que registró una tasa de 9.17% siendo la más alta durante este período. Además, en varios países sudamericanos se han llevado a cabo procesos de apertura comercial desde décadas atrás.

México tiene un indicador de apertura de 2%, que si bien es relativamente bajo, se puede justificar debido a que su apertura comercial se ha estado llevando a cabo desde hace más de 25 años, específicamente desde la crisis de 1982 y posteriormente con su incorporación al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT) en el año de 1986, donde adoptó medidas hacia la liberación comercial finalizando la etapa de los compromisos de apertura unilaterales y comenzando una era de negociaciones bilaterales y multilaterales como fue la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), que se puso en marcha en 1994 convirtiéndose en un acuerdo importante y definitivo en su apertura comercial (Rodríguez, 2009).

En consecuencia, su índice de comercio exterior como porcentaje del PIB pasó de 15 a 50% de 1980 a 2006, por lo que la liberación comercial favoreció en cierta manera la promoción de la competencia interna. Se generó una industria competitiva con la reducción de los precios al productor y menores costos que beneficiaron a la producción en diferentes sectores como las manufacturas, convirtiendo a México en una potencia mundial exportadora (Galavíz y Sánchez, 2012; Rodríguez, 2009).

²⁰ Relaciona las exportaciones y las importaciones de bienes y servicios reales de una economía con respecto a su PIB e indica su relación con respecto al comercio internacional por lo que si está más la economía está más abierta se asignan y aprovechan mejor los recursos disponibles, así como diversificar el consumo.

Gráfica 2.1
Apertura comercial de los países de América Latina y el Caribe
(Porcentaje)



Nota: Periodo: 1990-2011, excepto Cuba donde sólo se cuenta con información de 1990 a 2007.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

2.2.2 El Producto Interno Bruto

Por otra parte, las tasas de crecimiento medias anuales del PIB por subregión y por países (ver Cuadro 2.1), registran que en América Latina y el Caribe aumentaron 2.67% en las últimas tres décadas, mostrando, en general, una desaceleración de la actividad económica.

La mayoría de los países de Centroamérica, así como algunos que pertenecen al Caribe, fueron los que tuvieron crecimiento entre 3 a 5%. Es relevante señalar que sólo Haití decreció durante el período de análisis.

En México, Brasil y Argentina se registraron crecimientos menores al 3% debido a que han sufrido recesiones y crisis que frenaron su respectiva actividad económica. Caso contrario es la economía de Chile que ha tenido un mayor dinamismo y que se refleja en una tasa promedio de 4.6%.

Cuadro 2.1
Tasas de crecimiento medias anuales del Producto Interno Bruto (PIB)
de América Latina y el Caribe
(Porcentaje)

<i>Región / País</i>	<i>PIB</i>
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	2.67
México	2.47
CENTROAMÉRICA	3.19
Belice	4.64
Costa Rica	4.06
El Salvador	2.06
Guatemala	2.83
Honduras	3.31
Nicaragua	1.82
Panamá	4.58
CARIBE	4.87
Cuba	1.48
Haití	-0.04
Jamaica	1.66
República Dominicana	4.64
Trinidad y Tobago	2.46
SUDAMÉRICA	2.81
Argentina	2.68
Bolivia	2.69
Brasil	2.65
Chile	4.62
Colombia	3.53
Ecuador	2.98
Paraguay	3.06
Perú	3.14
Uruguay	2.44
Venezuela	2.09

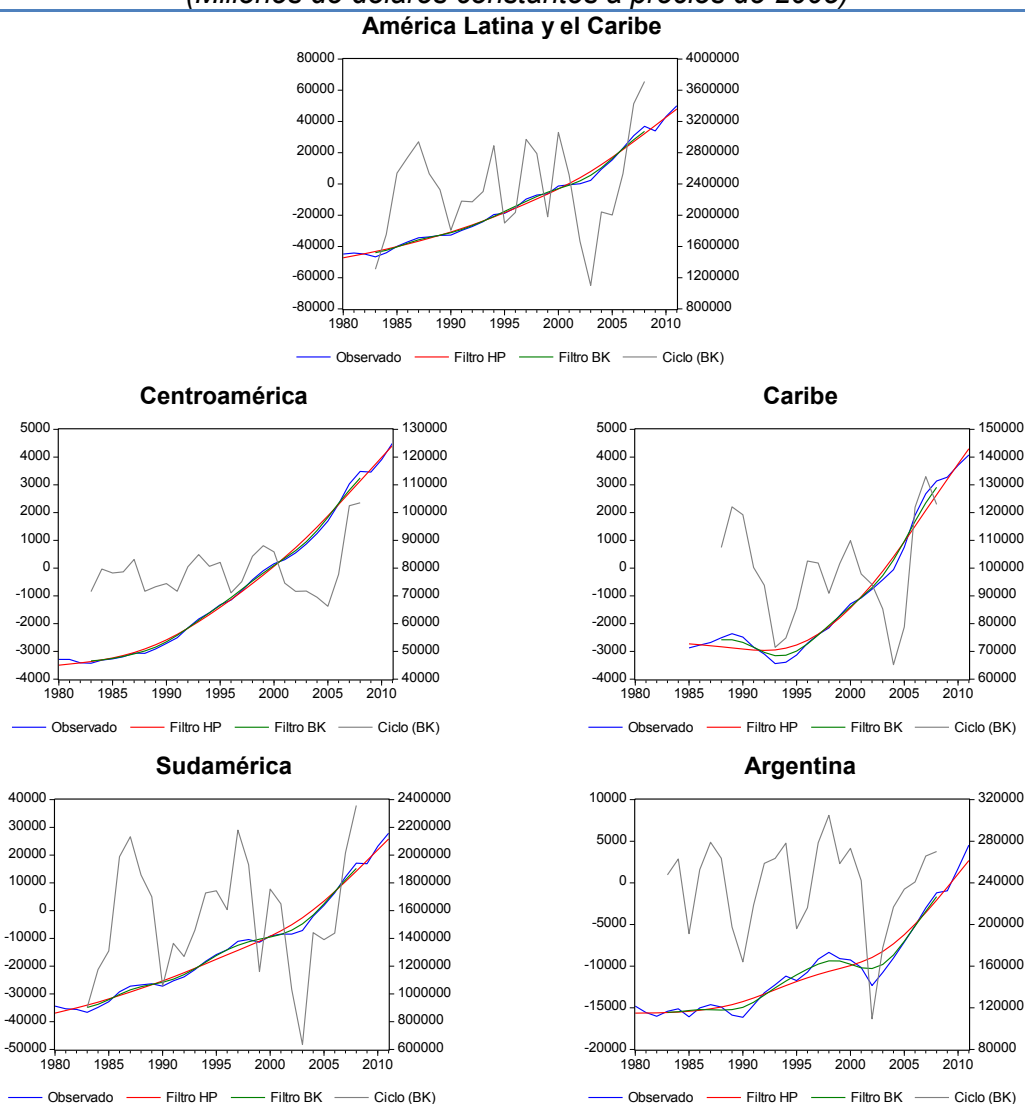
Periodo: 1980-2011, excepto el Caribe y Cuba cuya periodicidad es de 1985-2011.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

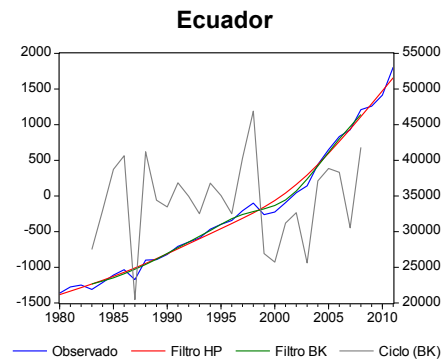
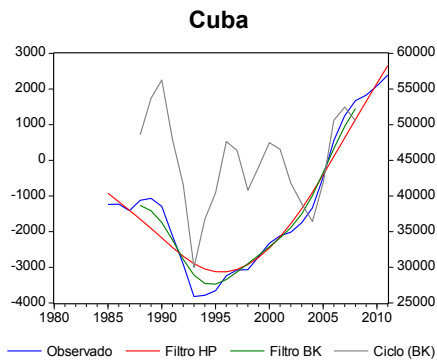
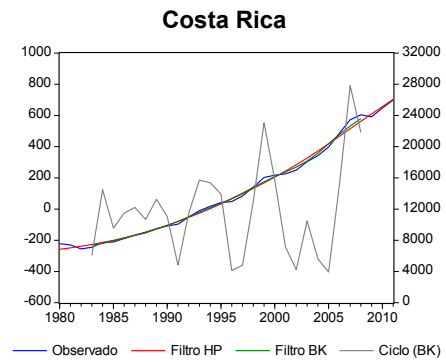
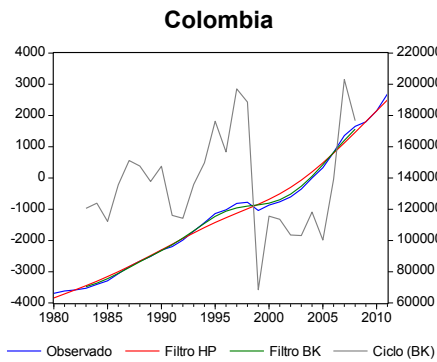
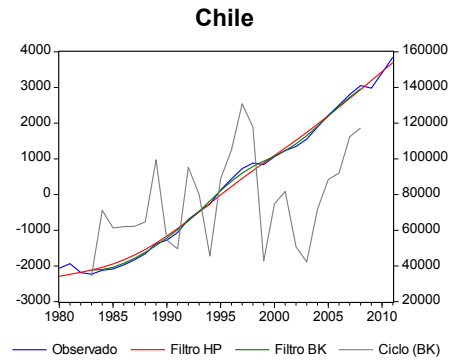
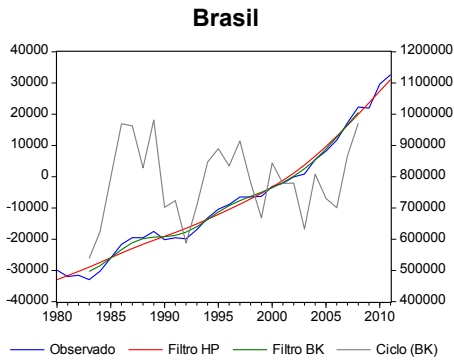
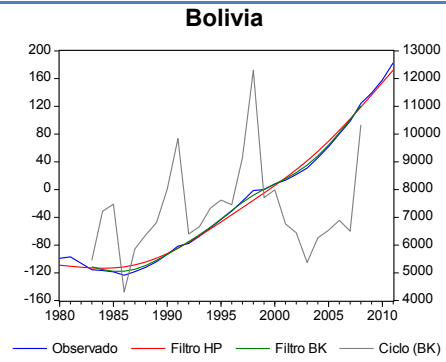
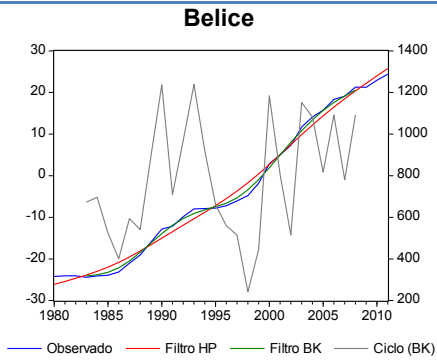
En la Gráfica 2.2 se muestran las trayectorias del PIB, así como las tendencias obtenidas mediante el filtro Hodrick-Prescott (HP) (1997) y los componentes de tendencia y ciclo a través del filtro Baxter-King (BK) (1995). Se observa que las trayectorias por regiones y países de ambos filtros, con excepción de Haití, son ascendentes con sus respectivos años de inestabilidad económica entre finales de los años noventa y mediados de la siguiente década.

Se pueden tomar como ejemplos, la crisis de diciembre de 1994 en México, la crisis de 1999 en Brasil y la crisis de Argentina en los años 2000 y 2001, que generaron un estancamiento en el ritmo de crecimiento y mayor volatilidad. En consecuencia, los países de la región adoptaron políticas pro cíclicas que amplificaron las fases de alta y baja a lo largo de los ciclos económicos y que afectaron el crecimiento, la estabilidad y la capacidad productiva y tecnológica debido al ajuste con las fluctuaciones frecuentes de los precios relativos y a los niveles de demanda y producción.

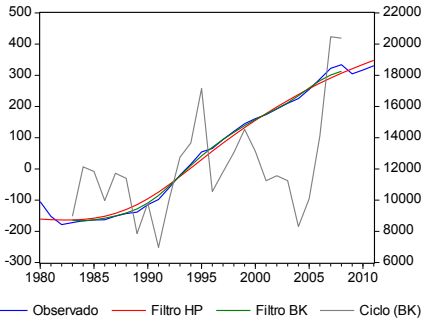
Entre los años 2003 y 2008, se registran tasas de crecimiento económico cercanas al 5%, que fueron resultado del mejoramiento en los precios de los productos básicos “*commodities*” y de la expansión del comercio internacional en la región. Esto fue resultado del auge económico mundial que tuvo una tasa de crecimiento de 3.6%, así como de las políticas macroeconómicas que lograron resultados positivos en aspectos fiscales, la acumulación de activos externos para enfrentar contingencias, menores tasas de desempleo e inflación y el fortalecimiento de los sistemas financieros domésticos (CEPAL, 2008; Bárcena 2010).

Grafica 2.2
Trayectorias del PIB y filtros Hodrick-Prescott (HP), Baxter-King (BK) y
Ciclo (BK) de América Latina y el Caribe
(Millones de dólares constantes a precios de 2005)

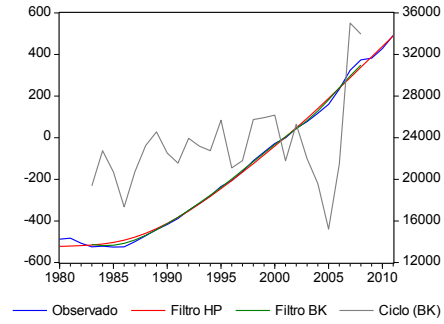




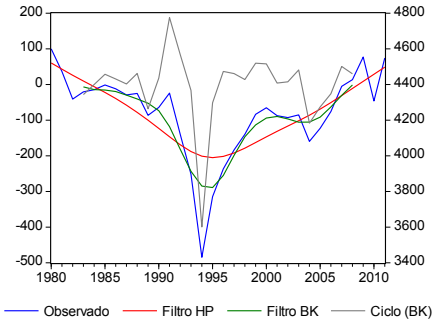
El Salvador



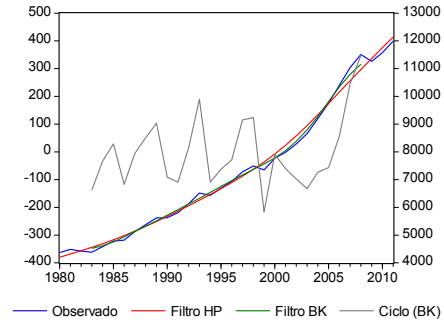
Guatemala



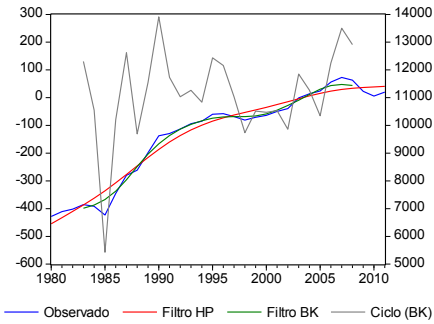
Haití



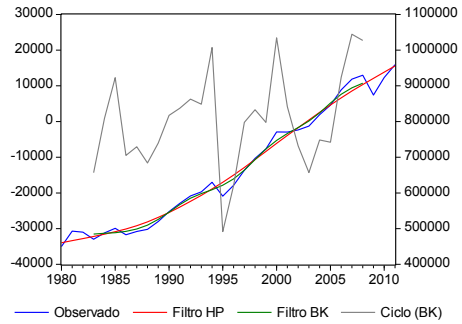
Honduras



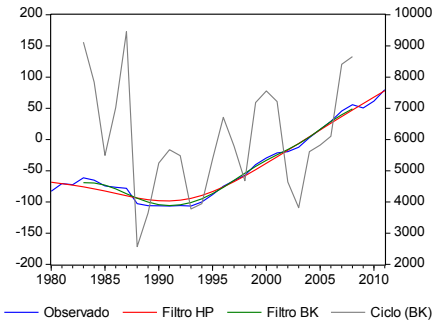
Jamaica



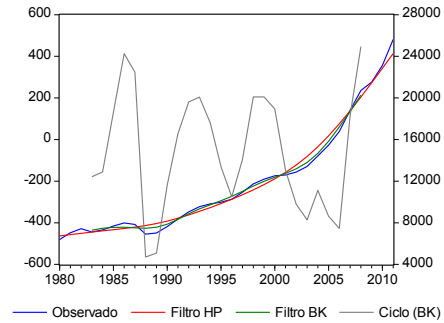
México

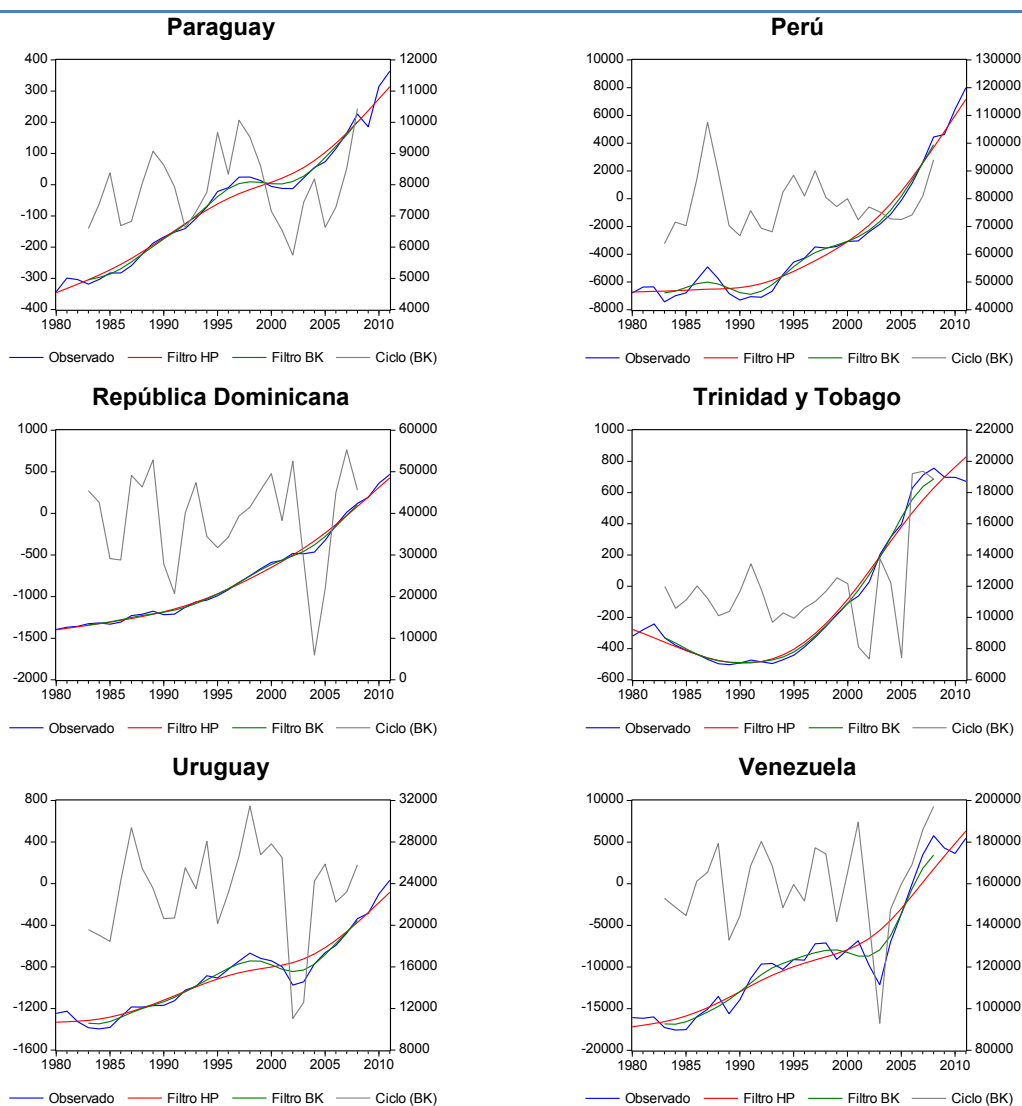


Nicaragua



Panamá





Notas: El eje de la izquierda corresponde a la escala del ciclo y el de la derecha a las trayectorias observadas y filtros. El filtro HP fue especificado mediante $\lambda=10$ para datos anuales (Mills, 2003) y el filtro BK tuvo como especificaciones 3 rezagos y frecuencias de periodos altos y bajos de 2 y 8 respectivamente (Baxter y King, 1995), ambos filtros para datos anuales.

Periodo: 1980-2011, excepto el Caribe y Cuba cuya periodicidad es de 1985-2011.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

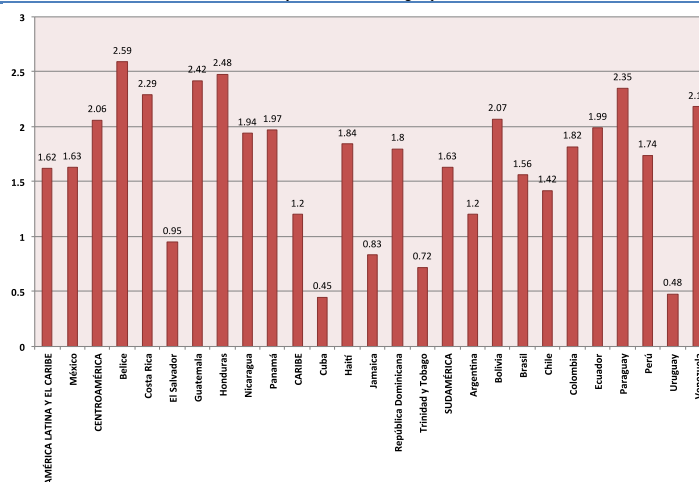
2.2.3 La población y el Producto Interno Bruto per cápita

La población es una variable importante para el desempeño social y económico en América Latina y el Caribe. De acuerdo con la Gráfica 2.3, se registró un crecimiento promedio anual de 1.62% en toda la región y donde algunos países como Belice, Honduras, Guatemala y Paraguay muestran incrementos de 2.59, 2.48 y 2.42 y 2.35% respectivamente. Los países altamente poblados como México, Brasil, Argentina y Chile presentan tasas medias de crecimiento menores al 2%.

En América Latina y el Caribe se registraron 596 millones de habitantes en el año 2011, por lo que las tendencias y las tasas de crecimiento registradas son resultado de

diferentes políticas donde las decisiones colectivas e individuales, por ejemplo la salud reproductiva, son determinantes para el crecimiento y desarrollo social y económico de los países e influyen en la calidad de vida de las personas. Es notable señalar que aunque la región sigue caracterizándose en mostrar grandes desigualdades.

Gráfica 2.3
Tasas de crecimiento medias anuales de la población de América Latina y el Caribe: 1980-2011
(Porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

Las estadísticas del PIB per cápita en América Latina y el Caribe, señalan que en toda la región el crecimiento fue bajo²¹ con valores de 1.17% para toda la región, 1.57% para Centroamérica, 1.53% en el Caribe y 1.38% en Sudamérica, lo que significa una importante la pérdida de poder adquisitivo y de calidad de vida de la población como en los casos de Nicaragua, Haití y Venezuela que tienen tasas negativas comparadas con Chile, República Dominicana y Panamá que tuvieron crecimientos importantes de 3.13, 2.80 y 2.54% respectivamente (ver Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2
Tasas de crecimiento medias anuales del PIB per cápita de América Latina y el Caribe
(Porcentaje)

Región / País	PIB per cápita
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	1.17
México	0.82
CENTROAMÉRICA	1.57
Belice	2.00
Costa Rica	1.71
El Salvador	1.19

²¹ A pesar de que en 2003 a 2008 el PIB per cápita creció 3% anual por el auge económico, el cual no había ocurrido desde cuatro décadas anteriores (Kacef y López-Monti, 2010).

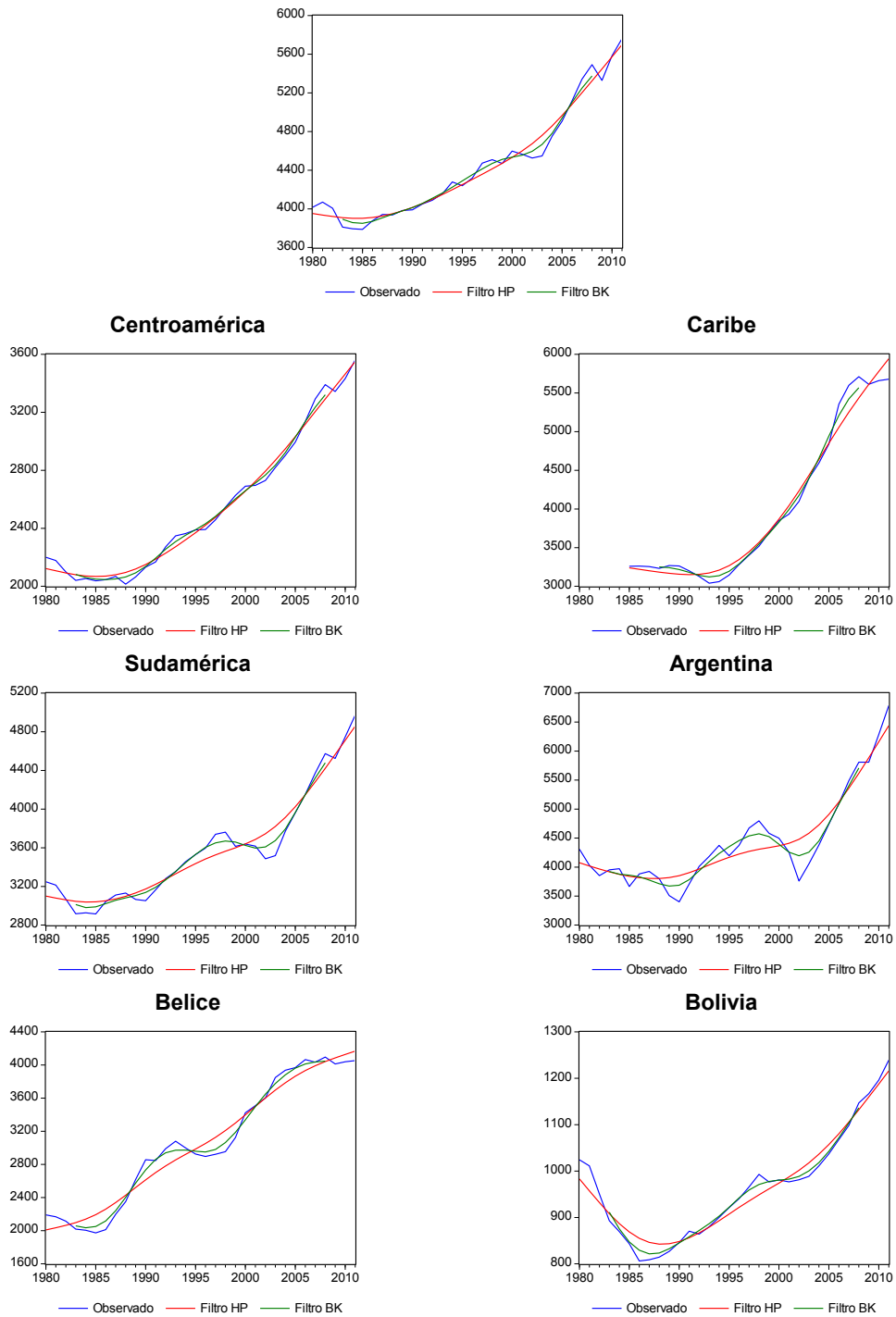
Guatemala	0.40
Honduras	0.79
Nicaragua	-0.08
Panamá	2.54
CARIBE	1.53
Cuba	1.04
Haití	-1.81
Jamaica	0.81
República Dominicana	2.80
Trinidad y Tobago	1.74
SUDAMÉRICA	1.38
Argentina	1.48
Bolivia	0.62
Brasil	1.06
Chile	3.13
Colombia	1.66
Ecuador	0.95
Paraguay	0.66
Perú	1.39
Uruguay	1.95
Venezuela	-0.08

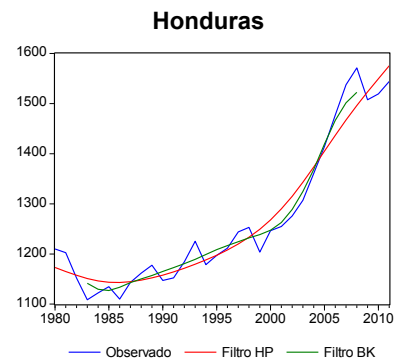
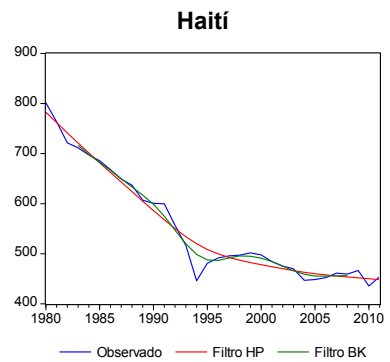
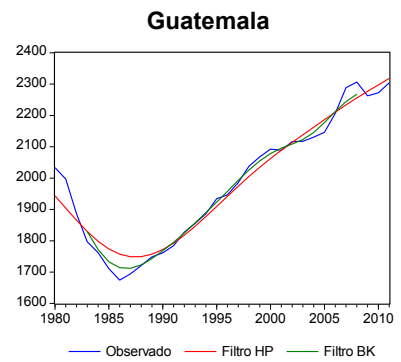
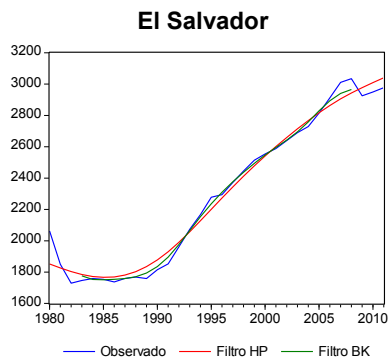
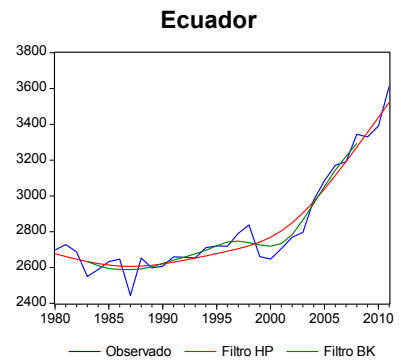
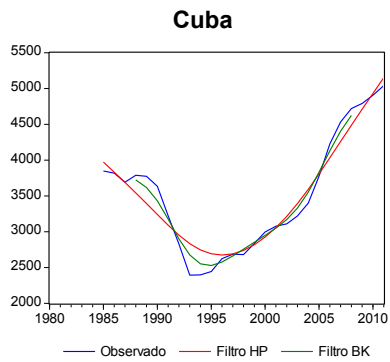
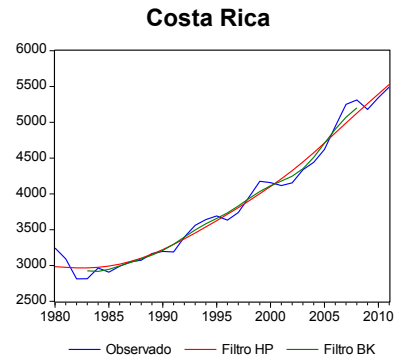
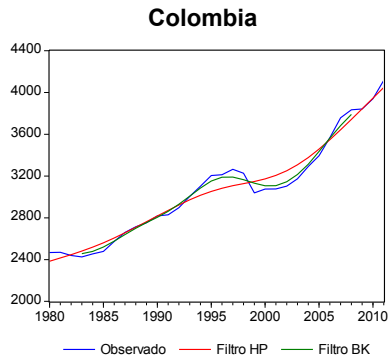
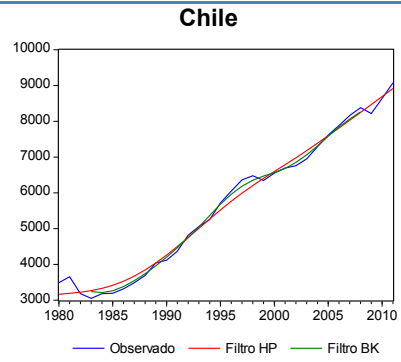
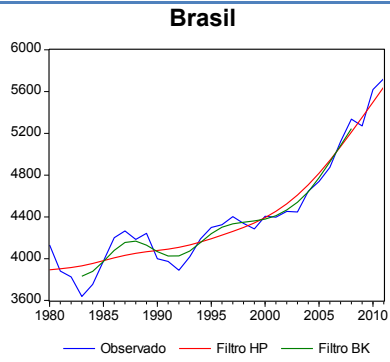
Periodo: 1980-2011, excepto el Caribe y Cuba cuya periodicidad es de 1985-2011.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

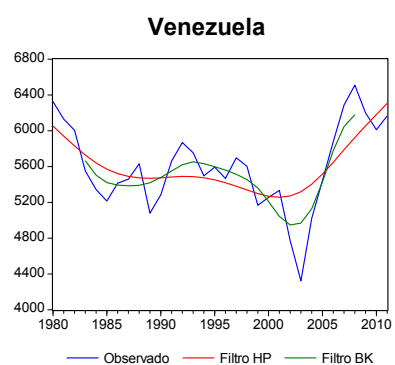
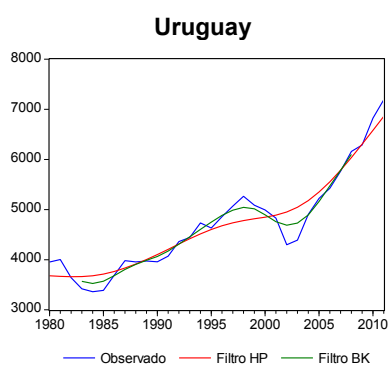
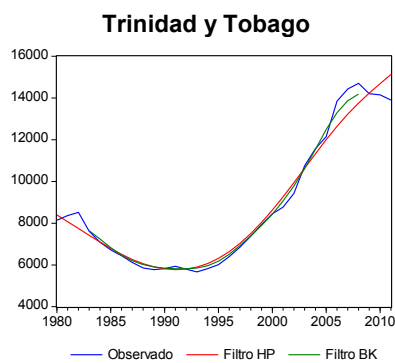
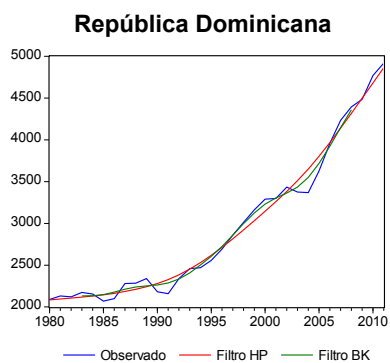
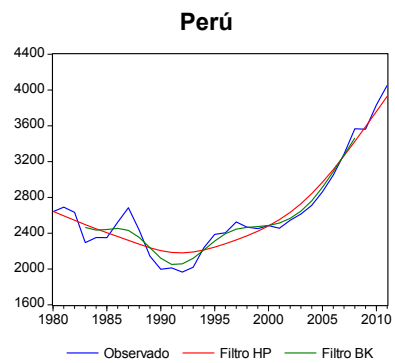
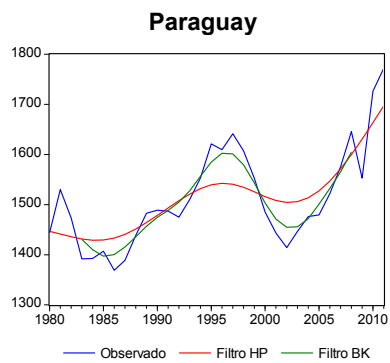
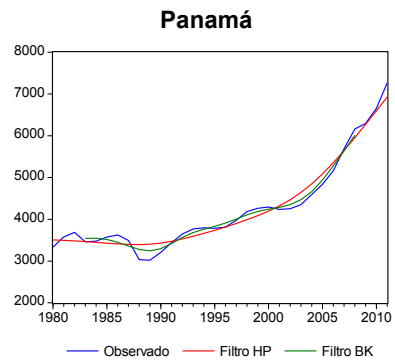
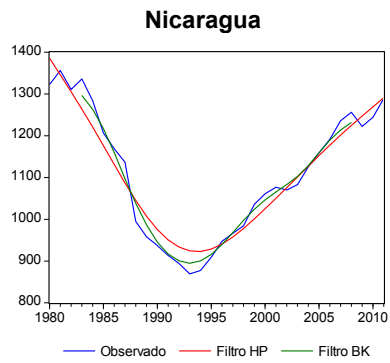
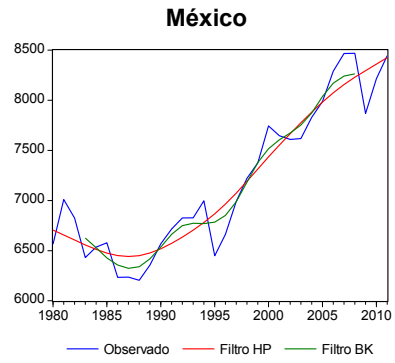
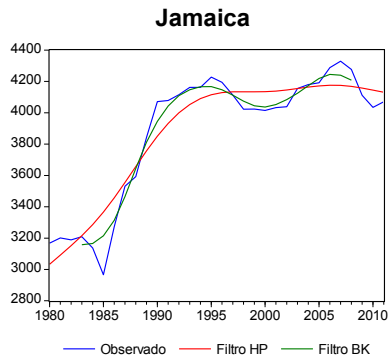
En la Gráfica 2.4 se muestran las trayectorias del PIB per cápita de los países de América Latina y el Caribe con sus componentes de tendencia obtenidos mediante los filtros Hodrick-Prescott (HP) (1997) y Baxter-King (BK) (1995). En consecuencia, existen importantes tendencias ascendentes en las subregiones y países, pero se destaca que Haití presenta una clara pérdida en este indicador pasando de 800 a menos de 500 dólares por habitante, Nicaragua tuvo una caída significativa hasta 1995 pero después comenzó a recuperarse para volver a llegar a niveles de 1980 con valores de 1,300 dólares per cápita y Venezuela paso de 6,400 a 4,400 dólares por habitante en 2003 para posteriormente aumentar durante el período de 2008 a 2011.

Nuevamente se destacan países como Chile, República Dominicana y Panamá que mostraron aumento en su PIB per cápita, ya que en el primer caso se paso de 3,500 a 9,000, en el segundo caso de 2,000 a casi 5,000 y en el tercer caso se duplicó, es decir, pasó de 3,500 a 7,000 dólares por habitante. En México, Brasil, Argentina, Paraguay, Jamaica, Perú, Honduras y Uruguay, a pesar de tener una tendencia ascendente y haber incrementado su nivel de PIB per cápita, se muestran tasas de crecimiento promedio anuales muy bajas (menores al 2%), así como constantes fluctuaciones irregulares donde no hay un patrón regular de crecimiento debido al comportamiento volátil de sus respectivas economías.

Gráfica 2.4
Trayectorias del PIB per cápita y filtros Hodrick-Prescott (HP) y
Baxter-King (BK) de América Latina y el Caribe
(Dólares por habitante)
América Latina y el Caribe







Notas: El filtro HP fue especificado mediante $\lambda=10$ (Mills, 2003) y el filtro BK tuvo como especificaciones 3 rezagos y

frecuencias de periodos altos y bajos de 2 y 8 respectivamente (Baxter y King, 1995), ambos filtros para datos anuales.

Periodo: 1980-2011, excepto el Caribe y Cuba cuya periodicidad es de 1985-2011.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

La globalización, en especial la relacionada con los aspectos financieros, es una de las fuerzas más dinámicas en la actualidad desde su auge en la década de los años noventa. Esta globalización financiera ha sido causante de crisis económicas que afectan a los países más desarrollados en comparación con otras décadas, es decir, durante 2007 y 2008, se presentó una fuerte crisis financiera y económica a nivel mundial no registrada desde la posguerra y con similitud a la Gran Depresión (Nudelsman, 2013).

Hay evidencia de diversos puntos de vista con referencia a las causas de esa crisis global, es decir, existe el planteamiento que señala que esta crisis fue resultado de políticas económicas instrumentadas por una serie de países a inicios de los años 2000, así como por perturbaciones que afectaron la transmisión de esas políticas a través de Estados Unidos y posteriormente hacia los mercados financieros internacionales (Obstfeld y Rogoff, 2009; Smaghi, 2008).

Por otro lado, existen argumentos que señalan que los desequilibrios globales son los factores importantes para que se manifestara la crisis, debido a que el flujo de capitales no resultó como se esperaba en la captación de beneficios, ya que no se financió la inversión y generó que los ingresos en Estados Unidos se destinaran al consumo y al déficit del gobierno y no hacia ahorros en los mercados emergentes para proyectos de inversión (Portes, 2009).

Los países de América Latina y el Caribe venían de un período económicamente favorable de 2003 a 2007, pero debido a la crisis global, la región no pudo permanecer inmune provocando diferentes intensidades entre las economías. Sin embargo, es notable destacar que la región pudo afrontar la crisis sin colapsos financieros.

América Latina sufrió reducciones en las remesas afectando principalmente a las economías más pequeñas. Además, tuvo disminuciones importantes en los precios de las materias primas y en los volúmenes comerciales globales a causa de la caída en las exportaciones de manufacturas, generando impactos que transmitieron la crisis a la región, ocasionado un importante déficit comercial regional entre finales de 2008 y principios de 2009 (Nudelsman, 2013).

La recuperación de la región se debió principalmente al posterior incremento parcial en los precios de los insumos y su inclusión en carteras de los inversores, debido a la regulación de los flujos globales de capital y a los flujos comerciales que aumentaron nuevamente las exportaciones demandadas por China, principalmente de Sudamérica, y por el desempeño en general de la actividad económica. Estas recuperaciones fueron moderadas en Centroamérica, México y Brasil, siendo estos dos últimos los que más sufrieron inestabilidad en los mercados cambiarios y monetarios locales (CEPAL, 2010a).

Asimismo, hubo una importante reducción de la deuda externa pública de América Latina que estimuló a que los bancos centrales tuvieran mayores márgenes de acción para estabilizar los mercados privados, así como la repatriación parcial de activos externos acumulados por residentes en algunos países y el progreso en los mercados de deuda local en los países en desarrollo. Los títulos del gobierno fueron los que ayudaron a sostener la situación financiera principalmente (Nudelsman, 2013).

Actualmente el escenario económico internacional se muestra complejo e incierto, ya que pueden ocurrir nuevamente desaceleraciones en los mercados emergentes debido a los vínculos comerciales y financieros con Estados Unidos y los países de Europa (Roubini, 2012). En América Latina y el Caribe el panorama luce similar, pero es importante destacar que la región ha tenido una importante recuperación en el corto plazo, pero existe el reto de llegar a tener un crecimiento económico sustentable para las siguientes décadas (Nudelsman, 2013).

2.2.4 El consumo de energía

La energía, junto con factores como el trabajo, el capital y la tecnología son necesarios para la producción y en consecuencia para el crecimiento económico (Stern y Cleveland, 2003; Alam, 2006). Estas relaciones entre la energía y los factores productivos, pueden modificar su rol en relación con el crecimiento de la economía, es decir, la energía y la producción se pueden modificar a través de la sustitución por otros insumos, los cambios tecnológicos, así como cambios en la composición de los tipos de energía y del producto (Stern y Cleveland, 2003).

De acuerdo con lo anterior, existen relaciones entre la energía y el capital que actúan como sustitutos en el largo plazo y complementarios en el corto plazo (Apostolakis, 1990). En el caso de la energía con la innovación tecnológica, existen relaciones

directas como sucede en el sector residencial o inversa como es el caso del sector industrial donde se pueden presentar ahorros energéticos debido a que diversas industrias tienen distintas intensidades energéticas, por lo que habrá un incremento en el uso de energía por unidad de producto en una etapa temprana del desarrollo económico y posteriormente una reducción del uso de energía por producto en etapas más largas (Panayotou, 1993).

Asimismo, cuando se presentan cambios tecnológicos endógenos, las variaciones en los precios pueden inducir a nuevas modificaciones en la tecnología, debido a que un aumento en los precios de la energía tenderá a acelerar el desarrollo de las tecnologías ahorradoras de energía (Stern, 2002; Stern y Cleveland, 2003).

Los futuros niveles en la producción y el consumo de energía de un país están determinados por el crecimiento de la población, el desempeño económico, los gustos de los consumidores, los desarrollos tecnológicos, las políticas públicas concernientes al sector de la energía y al desempeño de los mercados mundiales de energéticos. En consecuencia, el uso de energía es un aspecto fundamental para las dimensiones del desarrollo sustentable y donde se busca aumentar la utilización de energías más limpias y e incrementar la eficiencia energética.

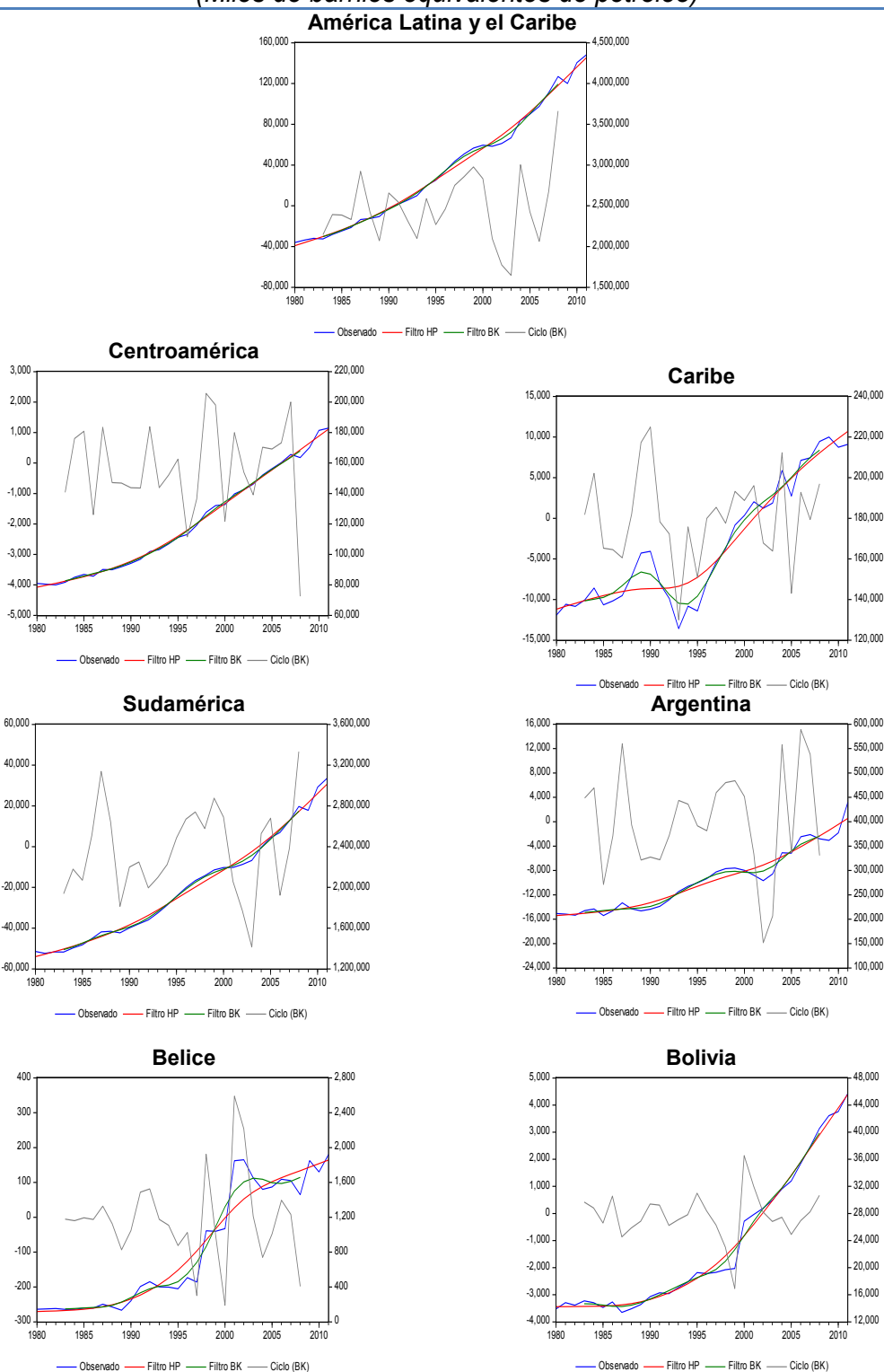
La aplicación de políticas y programas de conservación y mejoramiento de la intensidad energética tienen efectos en la disminución de la enorme cantidad de energéticos que son utilizados, mejoras en la eficiencia y la formulación de políticas de precios, buenos hábitos en su uso y estrategias de manejo y en la reducción de GEI y otros contaminantes, entre otras medidas (Dincer y Rosen, 1999).

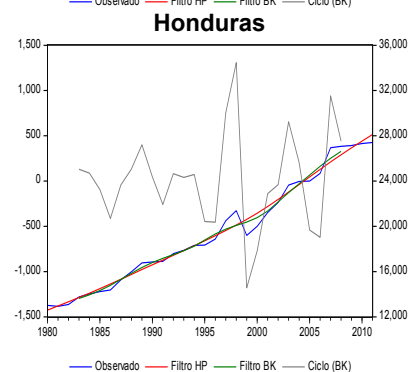
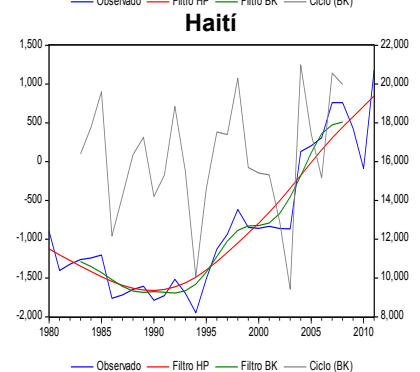
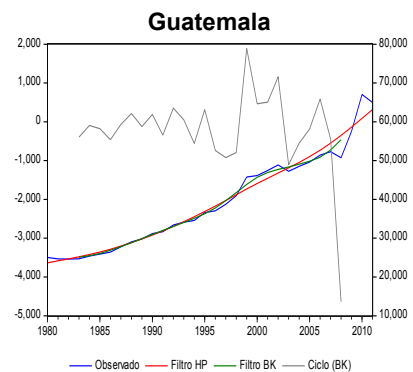
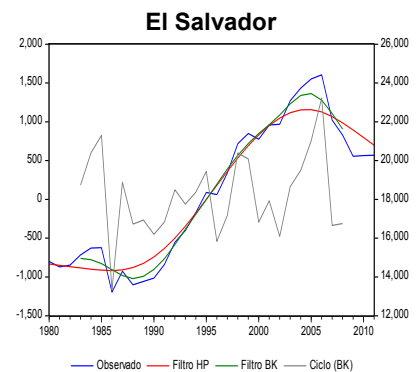
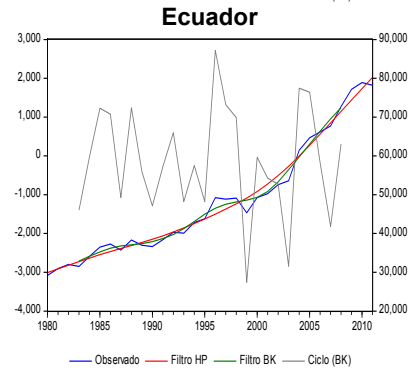
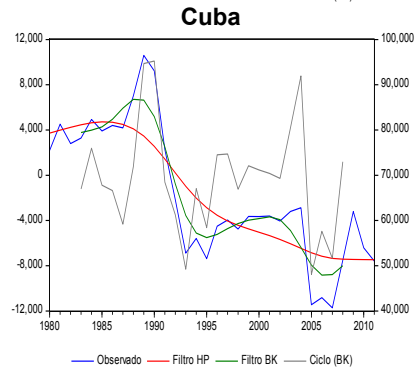
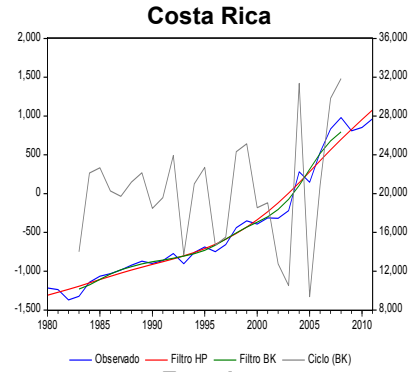
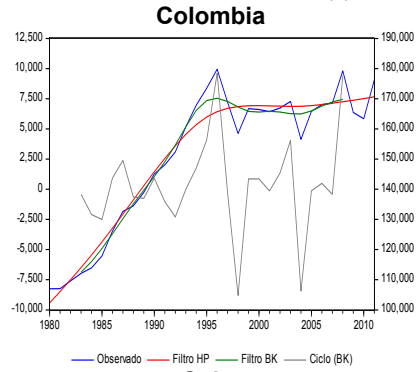
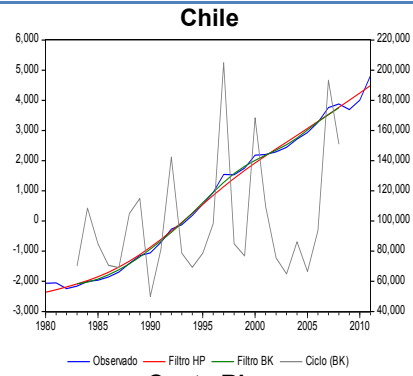
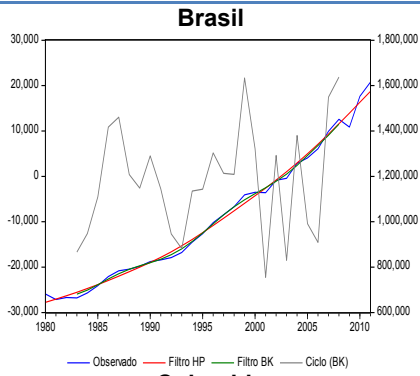
Durante muchas décadas, el consumo de energéticos fósiles a nivel mundial, principalmente en los países desarrollados, se han incrementado considerablemente debido a que es un insumo importante y fundamental para llevar a cabo las actividades económicas y mejorar el nivel de vida de las personas.

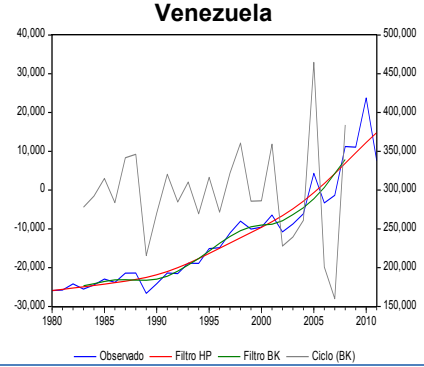
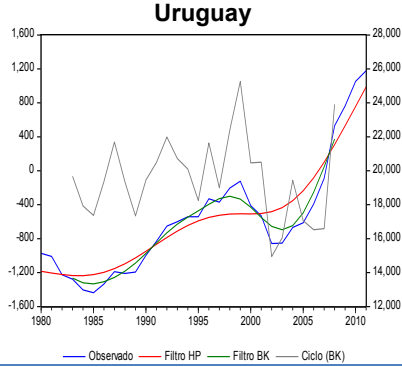
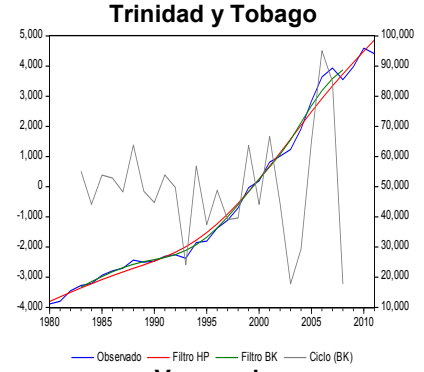
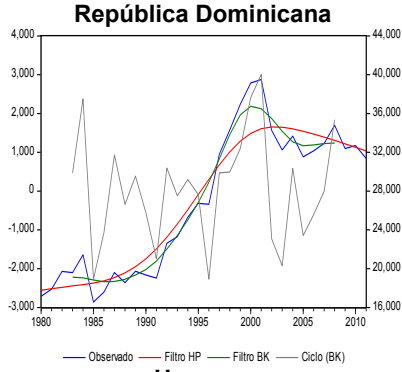
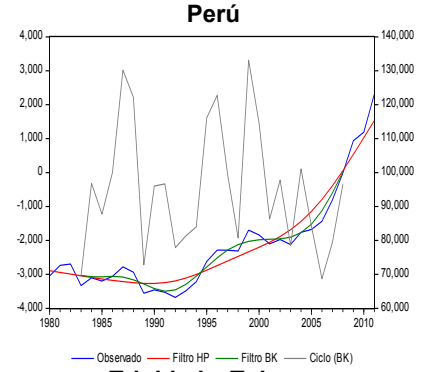
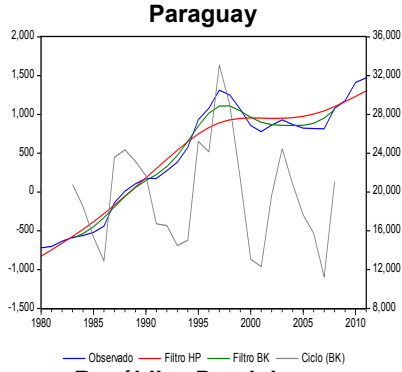
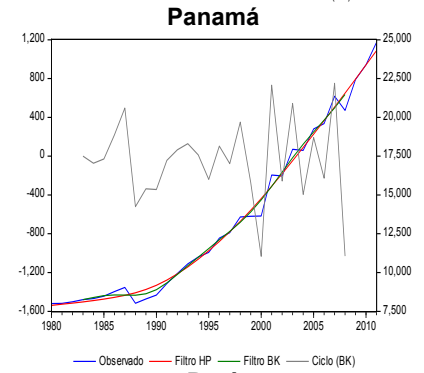
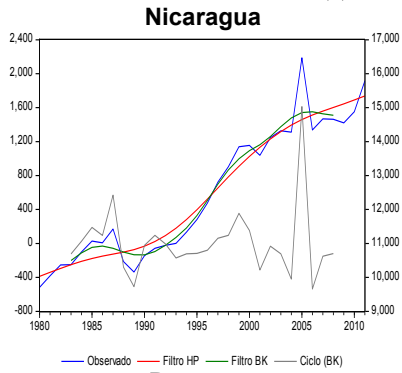
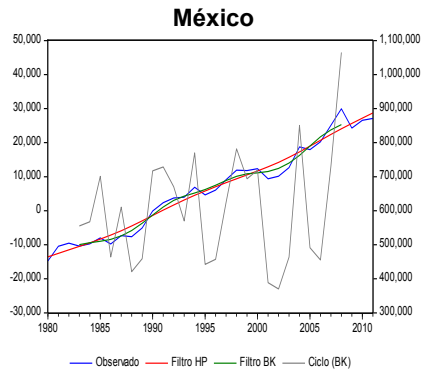
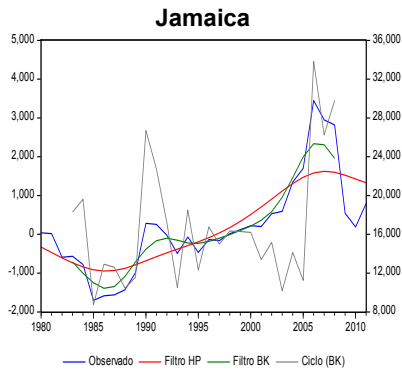
En América Latina y el Caribe no es la excepción, debido también a la presencia de tendencias ascendentes durante las últimas tres décadas, como se puede observar en la Gráfica 2.5, aunque muchos de esos países han tenido fluctuaciones importantes que han sido afectadas principalmente por la estructura energética en cada país y por crisis petroleras que se venían dando desde la década de los setenta, por las fuertes fluctuaciones en los precios de los energéticos, cortes prolongados de abastecimiento

eléctrico, por el uso intensivo de energía para producir y realizar las actividades cotidianas, así como la dependencia en las importaciones de diversos tipos de energéticos, entre otras situaciones (CEPAL, OLADE y GTZ, 2003).

Grafica 2.5
Trayectorias del consumo de energía total y filtros Hodrick-Prescott (HP) y
Baxter-King (BK) de América Latina y el Caribe: 1980-2011
(Miles de barriles equivalentes de petróleo)







Notas: El eje de la izquierda corresponde a la escala del ciclo y el de la derecha a las trayectorias observadas y filtros.

El filtro HP fue especificado mediante $\lambda=10$ (Mills, 2003) y el filtro BK tuvo como especificaciones 3 rezagos y frecuencias de periodos altos y bajos de 2 y 8 respectivamente (Baxter y King, 1995), ambos filtros para datos anuales.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

A pesar de las importantes fluctuaciones en el uso de energía en algunos países en la región, se ha registrado una tasa media anual de crecimiento de 2.46%, enfatizando las subregiones de Centroamérica y Sudamérica, donde sobresalen países como Belice, Panamá, Costa Rica, Guatemala, Chile, Bolivia y Ecuador.

El resto de los países se encuentran en un rango entre 0.5 a 3% aproximadamente. Sólo en el caso de Cuba se registró una disminución en el consumo de energéticos que se generó por la baja introducción de tecnología y por el desempeño de sus actividades económicas junto con el comportamiento de sus habitantes (ver Cuadro 2.3).

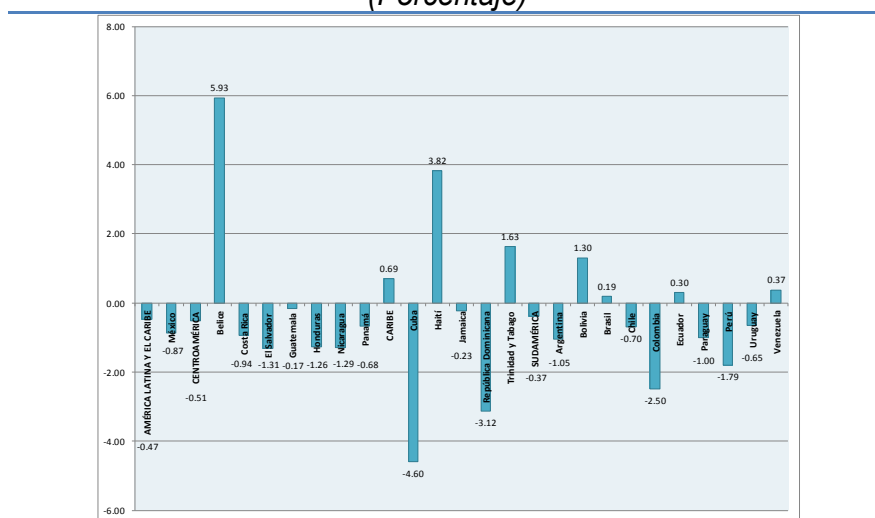
Cuadro 2.3
Tasas de crecimiento medias anuales del consumo de energía total de
América Latina y el Caribe: 1980 – 2011
(Porcentaje)

<i>Región / País</i>	<i>CE</i>
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	2.46
México	2.14
CENTROAMÉRICA	2.66
Belice	8.72
Costa Rica	3.25
El Salvador	1.02
Guatemala	3.12
Honduras	2.43
Nicaragua	1.58
Panamá	3.72
CARIBE	1.60
Cuba	-1.26
Haití	1.67
Jamaica	0.56
República Dominicana	1.97
Trinidad y Tobago	7.12
SUDAMÉRICA	2.63
Argentina	2.39
Bolivia	3.91
Brasil	2.83
Chile	3.97
Colombia	1.62
Ecuador	3.23
Paraguay	2.62
Perú	1.86
Uruguay	1.75
Venezuela	2.23

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

Analizando las tasas de crecimiento medias anuales de las intensidades energéticas de 1990 a 2011 (ver Gráfica 2.6), se destaca una gran dispersión entre los países a nivel regional debido principalmente a diferencias al uso diferenciado de los energéticos, a las estructuras productivas que utilizan una gran cantidad de energía. Por lo tanto, no existe un desarrollo industrial moderno y donde sectores como los servicios son los que más tienen participación en la actividad económica en general.

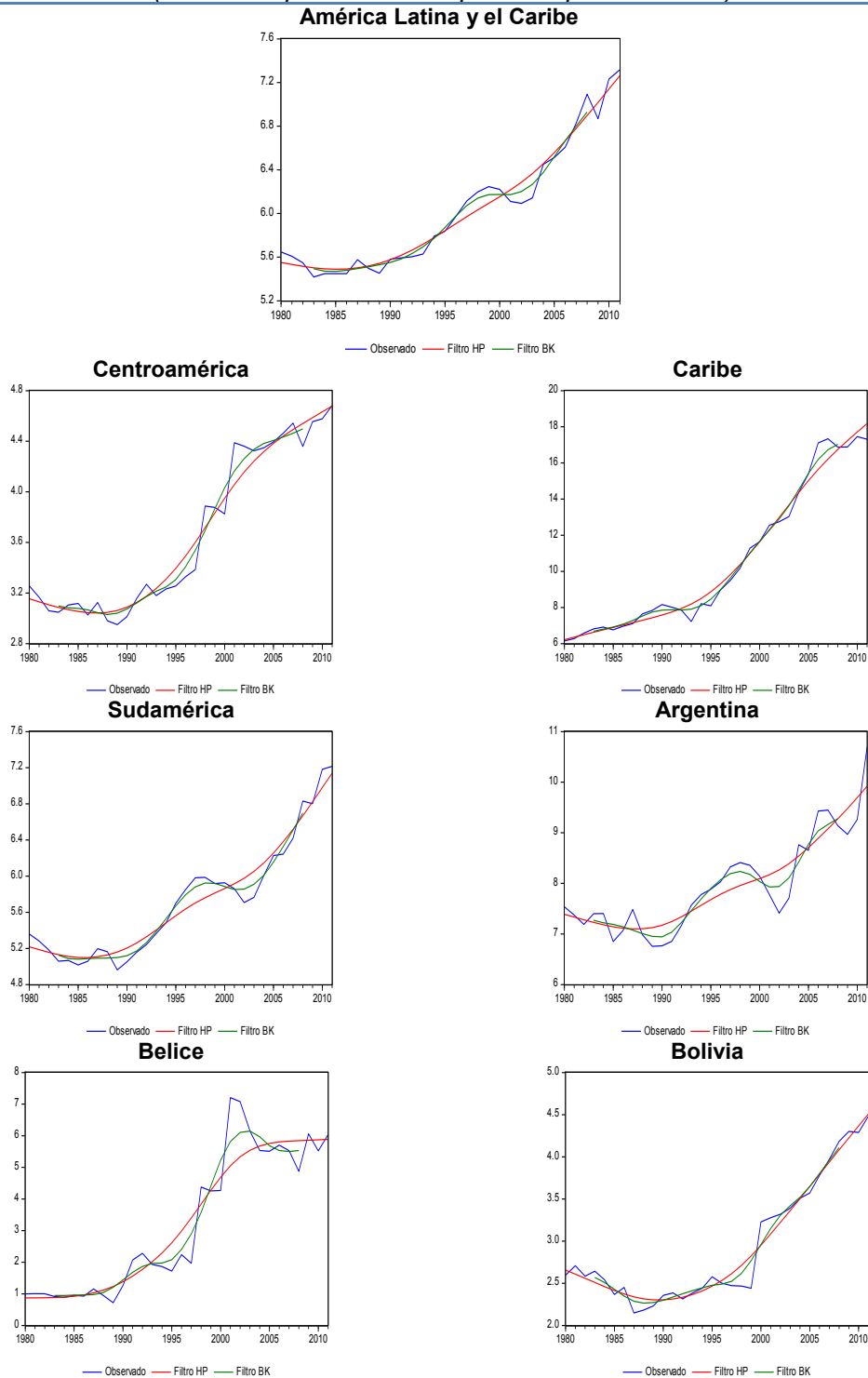
Gráfica 2.6
Tasas de crecimiento medias anuales de la intensidad energética de América Latina y el Caribe: 1990-2011
(Porcentaje)

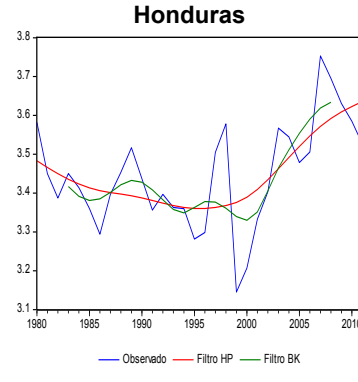
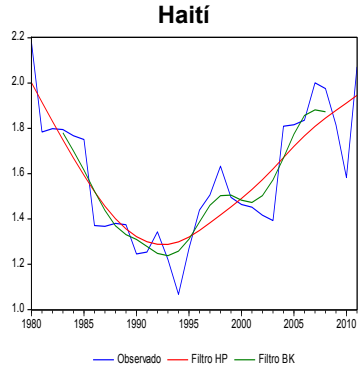
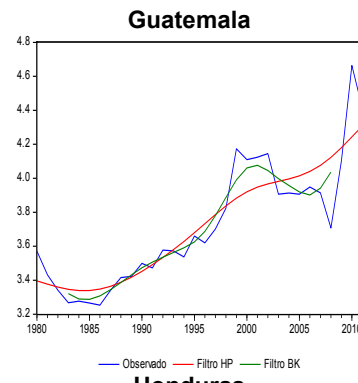
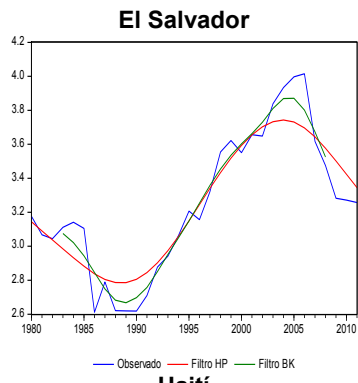
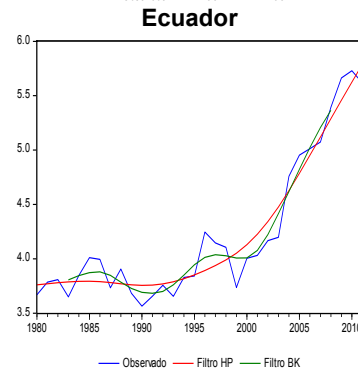
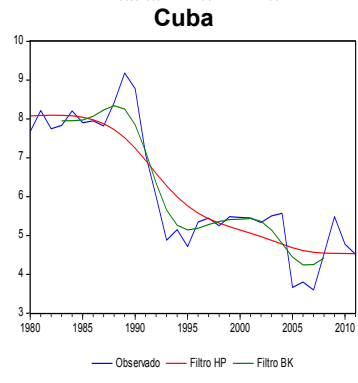
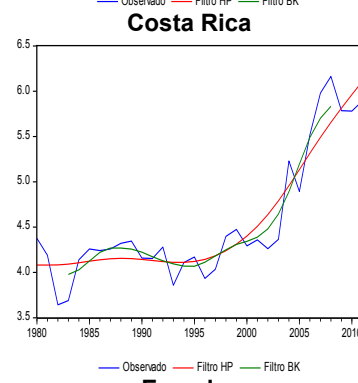
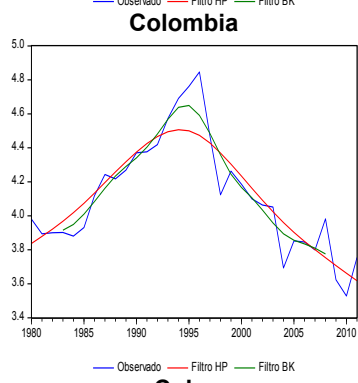
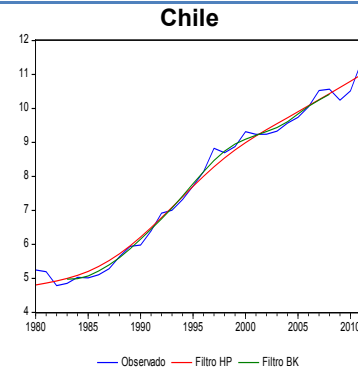
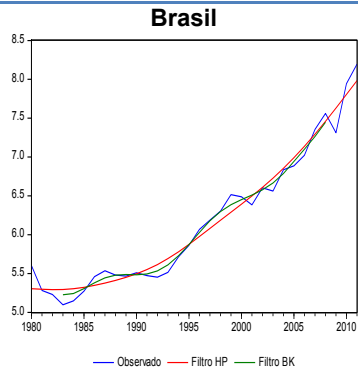


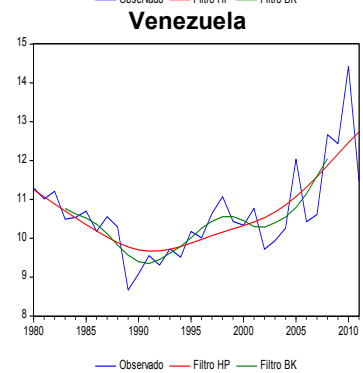
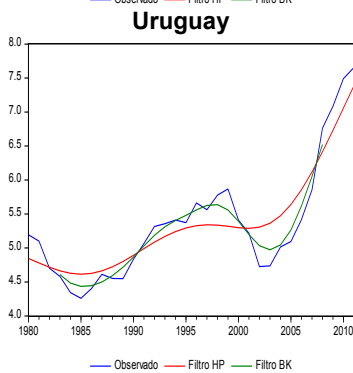
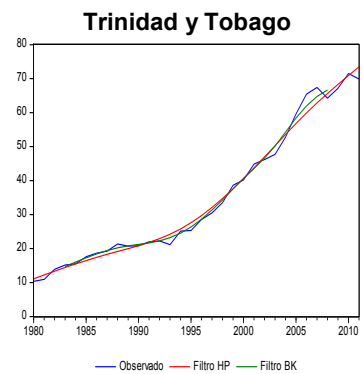
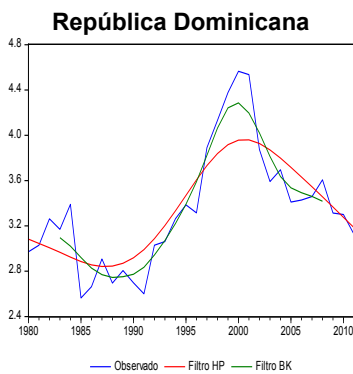
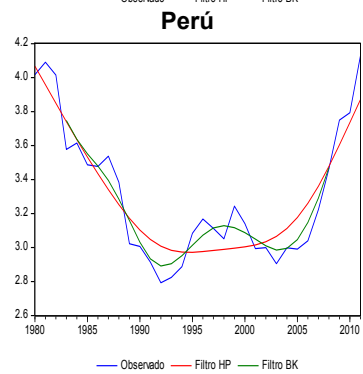
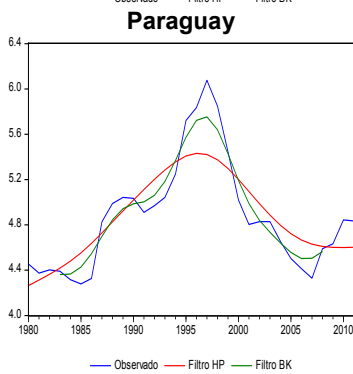
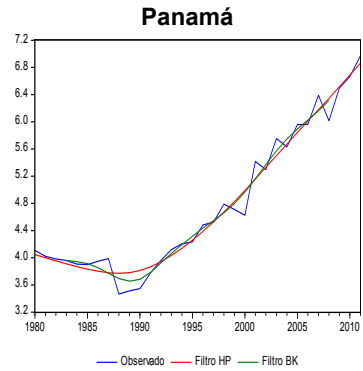
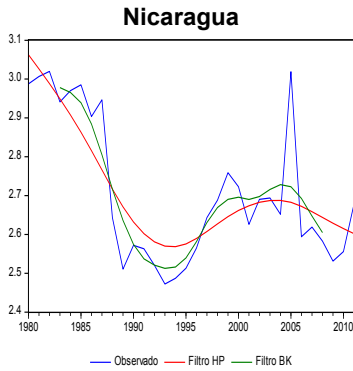
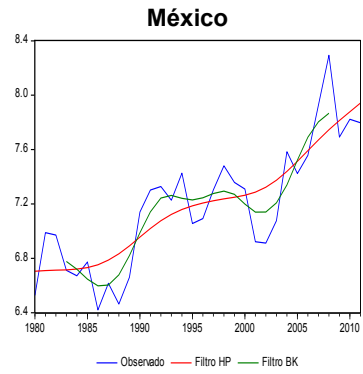
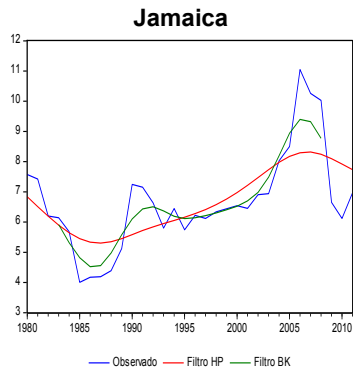
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

El comportamiento del consumo de energía per cápita (ver Gráfica 2.7) en América Latina y el Caribe es ascendente, con excepción de países como Colombia, Cuba, El Salvador y República Dominicana. La disminución en el uso de energía per cápita puede ser resultado de modificaciones en la población que provoquen variaciones en el stock de energéticos donde puede haber mayor o menor eficiencia.

Grafica 2.7
Trayectorias del consumo de energía per cápita y filtros Hodrick-Prescott (HP) y
Baxter-King (BK) de América Latina y el Caribe: 1980 – 2011
(Barriles equivalentes de petróleo por habitante)







Notas: El filtro HP fue especificado mediante $\lambda=10$ (Mills, 2003) y el filtro BK tuvo como especificaciones 3 rezagos y frecuencias de periodos altos y bajos de 2 y 8 respectivamente (Baxter y King, 1995), ambos filtros para datos anuales.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

Asimismo, en el Cuadro 2.4 se observan las tasas de crecimiento medias anuales del consumo de energía per cápita, destacando que la mitad de los países del Caribe registraron tasas negativas; se destaca además que Trinidad y Tobago y Belice han tenido tasas de crecimiento promedio mayores con 6.36 y 5.97% respectivamente en comparación con el resto de los países de la región, lo que significa que sus habitantes consumen una importante cantidad de energía. El resto de los países muestran tasas menores a 2.6% anual.

Cuadro 2.4
Tasas de crecimiento medias anuales del consumo de energía per cápita
de América Latina y el Caribe: 1980 – 2011
(Porcentaje)

<i>Región / País</i>	<i>Consumo de Energía per cápita</i>
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	0.84
México	0.58
CENTROAMÉRICA	1.18
Belice	5.97
Costa Rica	0.96
El Salvador	0.08
Guatemala	0.68
Honduras	-0.05
Nicaragua	-0.35
Panamá	1.72
CARIBE	3.40
Cuba	-1.70
Haití	-0.16
Jamaica	-0.27
República Dominicana	0.16
Trinidad y Tobago	6.36
SUDAMÉRICA	0.96
Argentina	1.14
Bolivia	1.78
Brasil	1.24
Chile	2.52
Colombia	-0.19
Ecuador	1.38
Paraguay	0.26
Perú	0.09
Uruguay	1.26
Venezuela	0.04

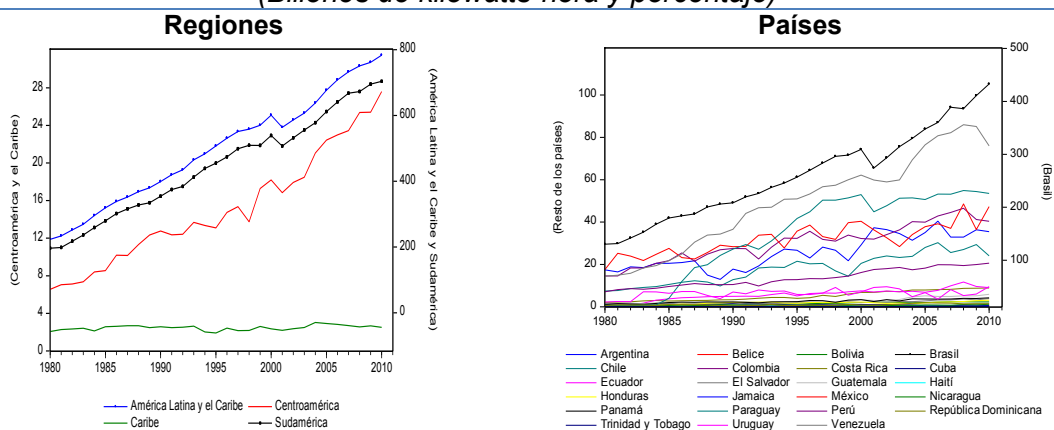
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

Los energéticos renovables²² han sido una parte relevante de la energía en su conjunto desde recientes décadas, siendo consideradas, en varios países, como una alternativa a las energías fósiles debido a su disponibilidad actual y futura y por su menor impacto sobre el medio ambiente.

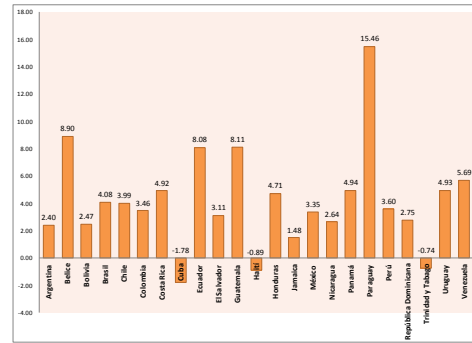
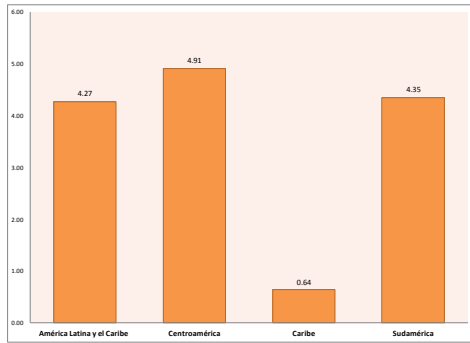
En el caso de las subregiones, como se observa en la Gráfica 2.8, la tendencia es ascendente llegando a caso 700 billones de kilowatts-hora en Sudamérica (destacando el caso de Brasil). En el resto de los países el rango de consumo de este tipo de energéticos se encuentra entre los 10 a 80 billones de kilowatts-hora.

Estas tendencias se reflejan en las tasas de crecimiento medias anuales, en donde en tres décadas, Centroamérica y Sudamérica son las subregiones que han tenido un mayor crecimiento con 4.91% y 4.35% respectivamente. A nivel país, Paraguay y algunos países de Centroamérica han tenido un mayor crecimiento debido al aumento en el consumo de electricidad renovable, básicamente. En Brasil se ha mantenido constante cercano a un 4% anual.

Gráfica 2.8
Trayectorias y tasas de crecimiento medias anuales del consumo de energía renovable de América Latina y el Caribe: 1980 – 2010
(Billones de kilowatts-hora y porcentaje)



²² Se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotable debido a la gran cantidad de energía que contienen y por su capacidad de regenerarse por medios naturales. Se clasifican en no contaminantes (solar, la eólica, la hidráulica (ríos y corrientes de agua dulce), la mareomotriz (mares y océanos), la geotérmica (calor de la Tierra) y undimotriz (olas)); y en contaminantes (materia orgánica o biomasa, bioetanol o biogás, biodiesel y residuos) (OCDE, AIE y EUROSTAT, 2007).

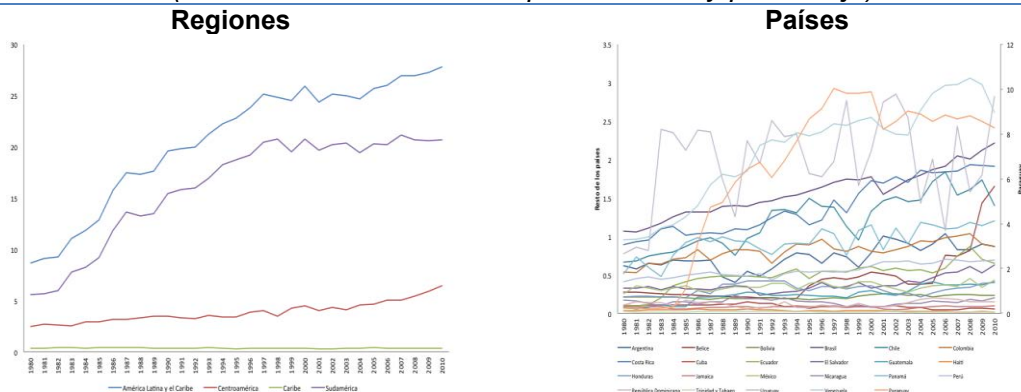


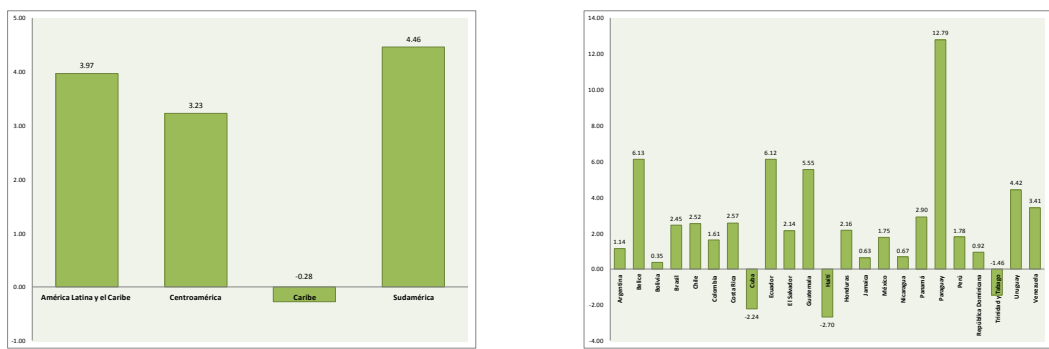
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EIA (The U.S. Energy Information Administration).

En la Gráfica 2.9 se presenta el consumo de energía renovable a nivel per cápita donde toda la región ha tenido trayectorias ascendentes desde 1980 hasta la fecha, destacando el caso de Sudamérica que en 2010 registró cerca de 20 millones de kilowatts-hora por habitante y una tasa de crecimiento de 4.46% anual. En El Caribe, la tendencia se ha mantenido relativamente constante en tres décadas.

El análisis a nivel país indica que Paraguay llegó a consumir casi 8 millones de kilowatts-hora por habitante en 2010 y que su tasa de crecimiento media anual fue de 12.79%. Asimismo, Belice, Ecuador, Guatemala y Uruguay y Venezuela fueron países que también registraron tasas mayores al 3% anual. Brasil, México, Argentina, Chile, Colombia y Panamá, han mantenido constante su crecimiento en el consumo per cápita de estos energéticos registrando valores menores al 3% anual en estas últimas tres décadas.

Gráfica 2.9
Trayectorias y tasas de crecimiento medias anuales del consumo de energía renovable per cápita de América Latina y el Caribe: 1980 – 2010
(Millones de kilowatts-hora por habitante y porcentaje)

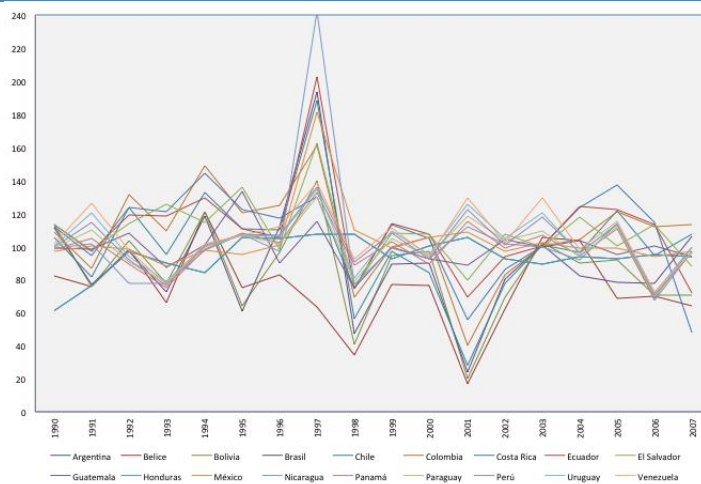




Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de EIA (The U.S. Energy Information Administration).

Los índices de precios de la energía son una variable importante en el comportamiento de la producción y del consumo de los energéticos. Por lo tanto, de 1990 a 2007, los índices de precios de los energéticos en América Latina muestran comportamiento similares, enfatizando que en décadas anteriores también hubo mayor volatilidad debido a diversas causas internas y a movimientos en los mercados de los energéticos. En los últimos 20 años, los precios han sido relativamente ascendentes con un comportamiento muy homogéneo entre ellos (ver Gráfica 2.10).

Gráfica 2.10
Trayectorias del índice de precios de la energía
en los países de América Latina: 1990 – 2007
(Año base 2000=100)



Notas: El índice fue construido con los precios de la electricidad sector industrial, residencial y comercial, a excepción de Belice donde se tomó el índice de precios de vivienda, gas, combustibles y electricidad. No se encontró información suficiente para países de El Caribe.

Fuente: Elaboración propia con datos de la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) y *Central Statistical Office* de Belice.

2.3 Las emisiones de bióxido de carbono en América Latina y el Caribe

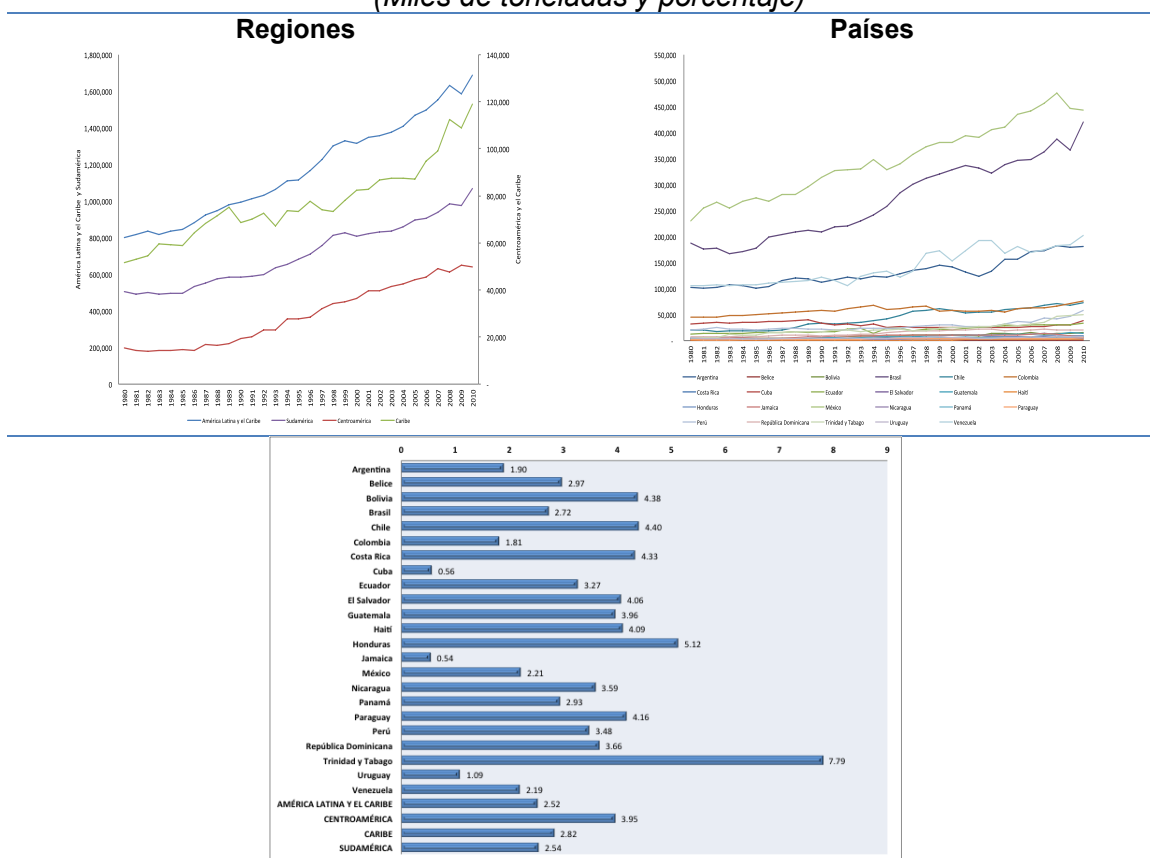
De acuerdo con los registros llevados hasta el momento en por parte de la comunidad científica internacional, el bióxido de carbono (CO₂) ha aumentado debido al uso de combustibles fósiles, principalmente provenientes de los sectores transporte, industrial,

construcción y residencial. Asimismo, la deforestación ha estado disminuyendo la absorción de emisiones de CO₂.

En recientes años, América Latina y el Caribe ha contribuido aproximadamente con el 9% de las emisiones a nivel mundial, básicamente por el crecimiento de la población y el incremento en la demanda de energéticos en el sector transporte (CEPAL, 2014; Sheinbaum y Ruiz, 2012)

En la Gráfica 2.11, las trayectorias de las emisiones de CO₂ totales son ascendentes, destacando la subregión de Sudamérica y países como México, Brasil, Venezuela y Argentina. En el caso de las tasas medias de crecimiento se observa que Trinidad y Tobago ha tenido un aumento importante con 7.79%, seguido de Honduras con 5.12%. Es relevante señalar que en los cuatro países que emiten más en América Latina y el Caribe han tenido tasas de crecimiento constantes durante 30 años registrando valores menores al 3% anual.

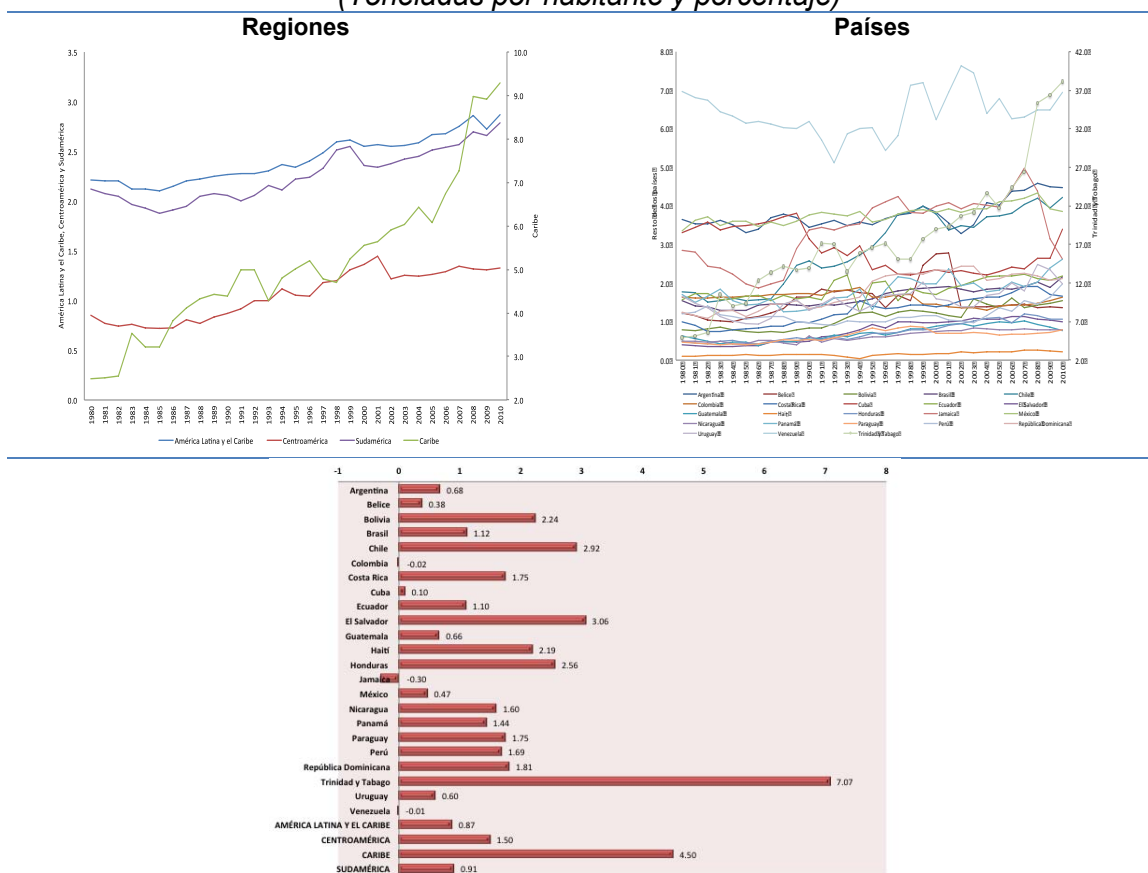
Gráfica 2.11
Trayectorias y tasas de crecimiento medias anuales de las emisiones totales de CO₂ de América Latina y el Caribe: 1980 – 2010
(Miles de toneladas y porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

En el caso de las emisiones per cápita, la evidencia indica que hay tendencias ascendentes durante los últimos 30 años. Nuevamente Trinidad y Tobago y la región del Caribe registra altos valores de emisiones por habitante, seguido de Sudamérica. A nivel país, exceptuando a Trinidad y Tobago, la mayoría de los países se encuentran entre un rango de 0.5 a 4 toneladas por habitante. Por otro lado, Jamaica, Colombia y Venezuela, son los países que registran decrecimiento. En el resto de los países, las tasas de crecimiento se mantienen constantes cada año por lo que ha contribuido a que las emisiones se incrementen progresivamente (ver Gráfica 2.12).

Gráfica 2.12
Trayectorias y tasas de crecimiento medias anuales de las emisiones per cápita de CO₂ de América Latina y el Caribe: 1980 – 2010
(Toneladas por habitante y porcentaje)

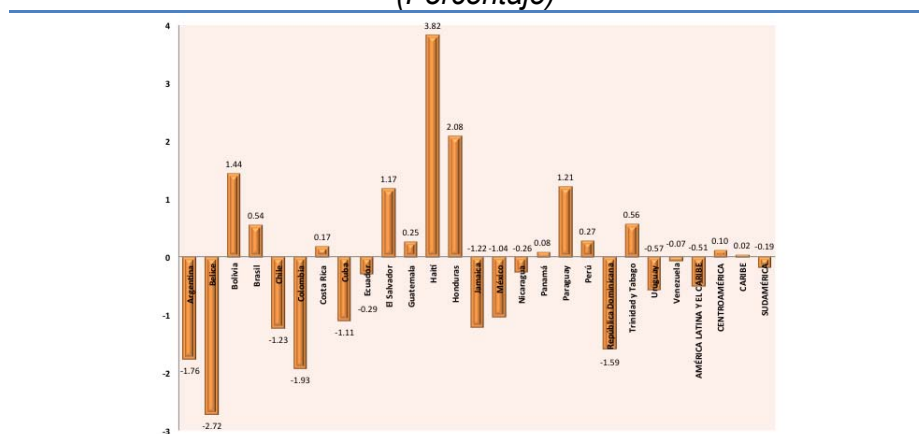


Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

Finalmente, para esta sección, se muestra las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ por unidad de PIB (descarbonización) (ver Gráfica 2.13) las cuales han sido en su mayoría negativas, con excepción de Haití, Honduras, Bolivia, Brasil, El Salvador, Paraguay, entre otros. Asimismo, países como Argentina, Brasil y México, que son los que más emisiones generan, han aplicado políticas ambientales y económicas insuficientes para combatir las emisiones de GEI debido a que sus tasas de

descarbonización se duplicaron. De mantener esa misma magnitud de emisiones, se pronostica que la región de América Latina y el Caribe contribuirá a que la temperatura global se incremente 2°C al final de este siglo (PWC, 2012).

Gráfica 2.13
Tasas de crecimiento medias anuales de las emisiones de CO₂ por PIB
en América Latina y el Caribe: 1990 – 2010
(Porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).

2.4 Impactos del Cambio Climático en América Latina y el Caribe

El Cambio Climático es uno de los desafíos más importantes a los que se ha enfrentando los seres humanos y cuyos impactos tendrán efectos importantes sobre los ecosistemas y modificará significativamente los patrones actuales de producción, distribución y consumo, así como los estilos de vida de las sociedades modernas (PNUMA y CEPAL, 2010).

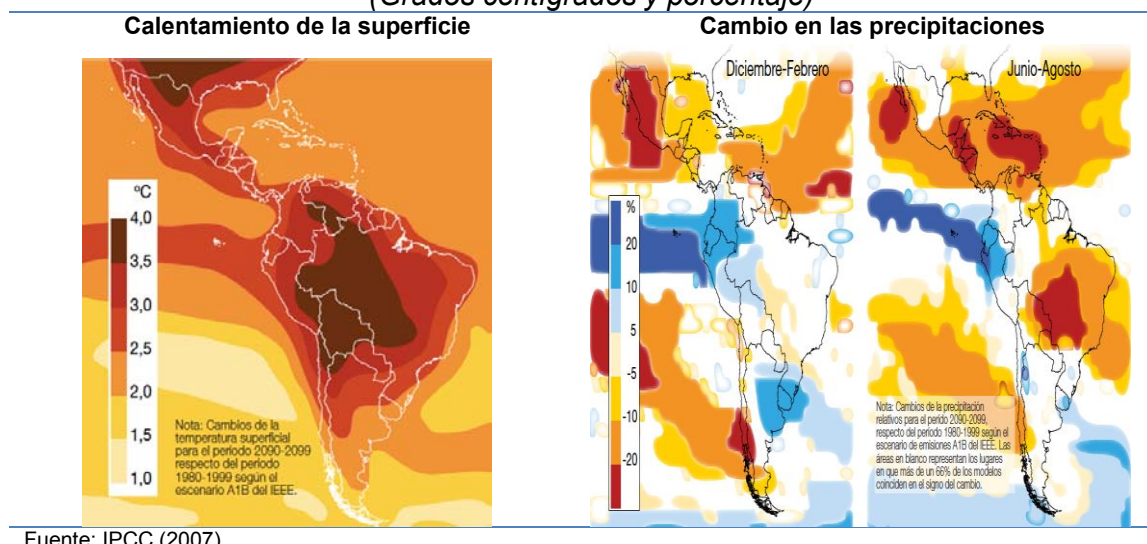
La Figura 2.1 señala que, de acuerdo con el IPCC (2007), en América Latina y el Caribe se han presentado aumentos en la temperatura importantes, que han sido muy heterogéneos y para finales de este siglo (2090-2099) se calcula que habrá incrementos importantes en un rango de 1 a 4°C con respecto a lo registrado durante el período de 1980 a 1999 y siendo los países de Sudamérica los más afectados por este calentamiento de la superficie.

Por otra parte, en el caso de los patrones de precipitación, la evidencia indica que existe una gran incertidumbre en su proyección y mucha heterogeneidad. En la Figura 2.1, se observa que habrá cambios diferenciados de acuerdo a las subregiones de América Latina y el Caribe, teniendo el caso de Centroamérica y la zona tropical de

Sudamérica donde habrá reducciones del 20 al 40%, para posteriormente, tener un incremento de 5% a 10% para el año 2080.

En el caso de la zona sur de Sudamérica habrá una reducción de la precipitación de 12% y un aumento en la misma magnitud en invierno y una reducción nuevamente en verano de cerca del 10%. Los impactos de la modificación de los patrones de precipitación están asociados con la disponibilidad hídrica, el reabastecimiento de acuíferos, el mantenimiento de las coberturas vegetales y el rendimiento agrícola en la región (PNUMA y CEPAL, 2012).

Figura 2.1
Calentamiento de la superficie y cambio en las precipitaciones
en América Latina y el Caribe
(Grados centígrados y porcentaje)

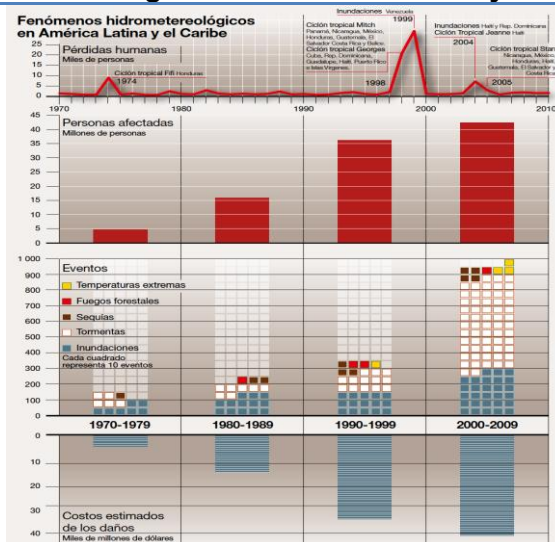


Los eventos climáticos extremos en América Latina y el Caribe se han intensificado en los últimos 39 años, el número de tormentas en los recientes años se multiplicó por 12 en comparación con los ocurridos en los años setenta. Las inundaciones aumentaron de forma importante en la última década.

Asimismo, el número de personas afectadas por temperaturas extremas paso de 5 millones en los años setenta hasta 43 millones, lo que resulta una tasa de crecimiento media anual de 5.7% aproximadamente, consecuencia también del crecimiento de los asentamientos humanos en la región, en zonas marginales urbanas, como a la mayor vulnerabilidad de las zonas costeras frente a estos eventos.

Finalmente, los costos calculados por los daños de los eventos hidrometeorológicos han aumentado en las últimas cuatro décadas cerca de 6% anual, es decir, paso de 4 a 40 millones de dólares como valores aproximados. Los resultados se muestran en la Figura 2.2.

Figura 2.2
Fenómenos hidrometeorológicos en América Latina y el Caribe: 1970 - 2009

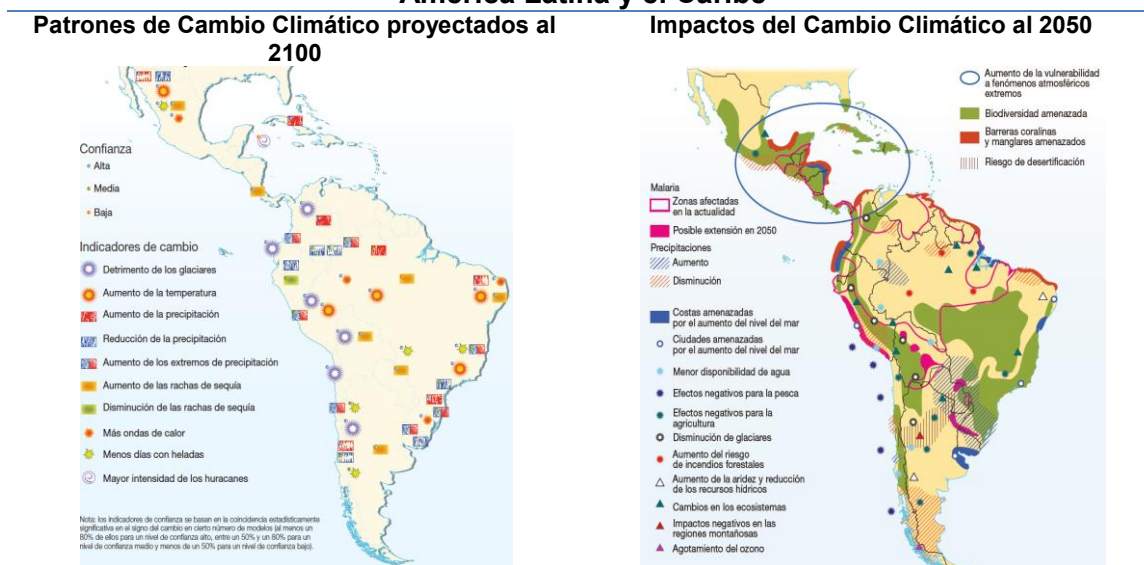


Fuente: PNUMA y CEPAL (2010) con información obtenida del *The International Disasters Database*.

A finales del siglo, los patrones de Cambio Climático en Centroamérica y el Caribe podrían generar un aumento en la intensidad de los huracanes y una disminución en la precipitación acompañada de más sequías. Asimismo, en países como México habrá aumento de temperatura, más ondas de calor, menos días con heladas y mayores sequías. Por otro lado en Ecuador, Colombia, Chile, Perú y Argentina los glaciares se verán afectados y en los países de las costas en el Pacífico y el Atlántico se incrementarán las precipitaciones (ver Figura 2.3).

A mediados del siglo XXI se pronostica que habrá amenazas en los servicios ecosistémicos en la cordillera de los Andes, en Centroamérica, en el Caribe, en el sur oriente de Brasil y en México. Además se presentarán efectos negativos en la pesca en el litoral pacífico del Perú y Chile. La disminución en la precipitación traerá consigo efectos adversos sobre el rendimiento agrícola en diversas regiones y países del continente. Además, aumentará la temperatura de la superficie de los océanos haría más frecuente el blanqueamiento de los arrecifes de coral, con efectos negativos para la pesca y el turismo. Se presenta, además, una alta vulnerabilidad en Centroamérica y el Caribe a causa de los eventos extremos.

Figura 2.3
Patrones proyectados e impactos del Cambio Climático en
América Latina y el Caribe



Fuentes: PNUMA y CEPAL (2010) con información obtenida del INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil), Landa, Ávila y Hernández (2010) y CEPAL (2010b)

2.5 Conclusiones

Para llevar a cabo una investigación acerca de la CKA en la región de América Latina y el Caribe, es relevante analizar el comportamiento económico, energético y ambiental de la región, destacando el impacto que ha tenido el Cambio Climático y las posibles amenazas que podrían ocurrir de no llevar a cabo políticas públicas que mitiguen dichos impactos.

En consecuencia, en el caso del aspecto económico, la región ha sido principalmente destinada a ser productor de materias primas. La globalización en la región ha ocasionado un importante efecto en el crecimiento de la producción interna y en el mercado mundial, por lo que ha estado expuesta a los efectos que ocurren en la economía mundial y en los impactos del Cambio Climático, teniendo como ejemplo las recesiones y crisis económicas que afectaron de manera considerable sus estructuras productivas, sociales y ambientales en los años ochenta. Aunque en posteriores décadas se han presentado recuperaciones en las actividades económicas, aún no están libres de los efectos que ocurran a nivel internacional en los próximos años.

Por lo tanto, entre 1980 y 2011 la economía de la región aumento cerca de 2.7% anualmente, por lo que en general las economías que componen la región tuvieron tasas de crecimiento anuales entre 2 y 4%. Junto con el crecimiento en tres décadas, principalmente a mediados de los años ochenta y la década de los noventa, comienza

a aumentar la apertura comercial de las economías más importantes como México, Brasil, Chile y Argentina.

A nivel producto per cápita los datos señalan que en toda la región el crecimiento fue bajo con valores de 1.17%, 1.57% para Centroamérica, 1.53% en el Caribe y 1.38% en Sudamérica, significando una importante la pérdida de poder adquisitivo y de calidad de vida de la población.

En el caso de la demanda de energía se observan tendencias ascendentes con muchas variaciones en la mayoría de los países, cuyos comportamientos se han dado debido a las formas de utilización de los energéticos, las crisis petroleras ocurridas desde los años setenta y a las fuertes fluctuaciones en los precios de los energéticos, principalmente.

Esto también ha afectado el comportamiento del consumo de energía per cápita, donde nuevamente las tendencias de las subregiones y de los países son ascendentes con excepción de países como Colombia, Cuba, El Salvador y República Dominicana. Consecuentemente, la mayoría de los países tuvieron tasas de crecimiento medias anuales de 2.6%, al contrario de la mitad de los países caribeños donde presentaron tasas negativas.

El uso de energías renovables totales y per cápita se ha hecho una alternativa importante para el uso de combustibles fósiles en los últimos años por lo que se han registrado tendencias y tasas de crecimiento positivas en la región en general, principalmente en Sudamérica.

Con la alta demanda de energéticos se ha incrementado también la cantidad de CO₂ total y per cápita a la atmósfera por parte de los países de América Latina y el Caribe, que aportan el 9% de las emisiones a nivel internacional, que han contribuido con impactos importantes en el sistema climático. Se destacan la subregión de Sudamérica y países como México, Brasil, Venezuela y Argentina que han tenido tasas de crecimiento constantes con valores menores al 3% anual en las últimas tres décadas.

El aumento en el uso de combustibles fósiles y en las emisiones de CO₂ globales, ha generado fuertes impactos ambientales en la región y en el mundo, aumentando la temperatura de la superficie (que se estiman que a finales del siglo XXI habrá un

aumento de 1 a 4°C), modificando los patrones de precipitación, aumentando los eventos climáticos extremos donde se han multiplicado los efectos sobre los seres humanos y los costos económicos de los daños en las últimas cuatro décadas.

CAPÍTULO III. LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL: MARCO TEÓRICO Y EVIDENCIA INTERNACIONAL

3.1 Introducción

A partir de la segunda mitad del siglo XVIII, con la revolución industrial, la actividad económica ha utilizado una gran cantidad de recursos naturales y energéticos, que han sido insumos importantes de la producción y han contribuido a la emisión de una gran cantidad de GEI, principalmente de CO₂.

Los GEI derivados de la actividad antropogénica han alterado la composición natural de la atmósfera, originando calentamiento global o Cambio Climático, que está modificando y afectando el funcionamiento de los fenómenos climáticos y la estabilidad de los seres vivos para sobrevivir en el planeta durante las próximas décadas.

Debido a la existencia de una gran cantidad de teorías, y dado el perfil regional de este estudio, una opción relevante es estudiar el fenómeno que relaciona la economía y el impacto ambiental a través de la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Esta teoría ha sido analizada frecuentemente y trata de comprobar su posible existencia en regiones y/o países, basándose en la aplicación de diversas metodologías estadísticas y econométricas generando resultados que dependen de las estructuras económicas y ambientales.

Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es llevar a cabo una revisión de la relación que existe entre el crecimiento económico y el medio ambiente que son fundamentales para las bases donde se desarrolla la CKA. También, se expondrá su definición, sus diferentes características, argumentos a favor y en contra, su origen y especificación. Finalmente se hará una revisión de la evidencia internacional acerca de la CKA.

El capítulo tiene la siguiente estructura: inicialmente está la introducción; en seguida se plantean los aspectos generales entre la relación que existe entre la actividad económica y el medio ambiente; después se explican los aspectos teóricos relacionados con la CKA; posteriormente se muestra de manera general como es el surgimiento de dicha curva a través de los beneficios y costos marginales; luego muestra el modelo de la CKA y sus posibles condiciones que pueden llegar a suceder;

se hará un análisis de los principales estudios donde se ha aplicado el modelo de la CKA a nivel internacional y finalmente se encuentran las conclusiones del capítulo.

3.2 La relación entre economía y medio ambiente

3.2.1 Aspectos generales

En la década de los años setenta, la economía mundial toma una nueva dirección que fue determinada principalmente por las crisis petroleras y de alimentos, los desajustes monetarios y financieros, los cambios en los regímenes de tipos de cambio fijos a flotantes, el incremento de la inflación, el aumento del desempleo, la crisis en las balanzas de pagos y la recesión industrial.

Posteriormente, en la década de los años ochenta, el principal problema se debió a la profunda recesión económica mundial debido a las políticas económicas aplicadas por los diferentes países. Esto generó modificaciones demográficas originando que una gran parte de la población de determinadas áreas metropolitanas emigraran a otras con menor crecimiento demográfico a causa del desarrollo tecnológico, los costos urbanos, los bajos costos de transporte y comunicaciones y el desarrollo de ciudades pequeñas y medias y que se dispersan, en algunos casos, hacia las zonas rurales (Asuad, 2001).

Estos hechos nuevamente pusieron en la mira la discusión del crecimiento y el desarrollo económico, principalmente sobre la tecnología, los mercados y las instituciones retomando los planteamientos clásicos y neoclásicos. El desarrollo regional se explica mediante la visión de la teoría neoclásica y la discusión fordista²³.

De acuerdo con el Consenso de Washington²⁴, la teoría neoclásica es el paradigma dominante sobre el crecimiento económico y que está basada en la liberación de los mercados alcanzando precios correctos sin distorsiones, en la asignación eficientemente de los recursos y un sólido crecimiento económico señalando que en el

²³ La "primera fase de industrialización" o "fordismo" fue creada por Henry Ford en sus fábricas automotrices de 1920 a 1930 y simplemente consiste en la elaboración de mercancías en masa que tiene características como la producción masiva estandarizada, la extensa división del trabajo y especialización; y el aumento de la productividad (basada en las economías de escala, la competencia oligopólica y el dominio de las grandes corporaciones). Este modo de producción fue reforzado por las políticas públicas de educación y bienestar, hasta el sustento y estabilización de la demanda, buscando un vínculo entre el crecimiento del empleo, la producción y productividad a través de una política keynesiana (Asuad, 2001).

²⁴ El Nuevo Consenso de Washington señala que además de favorecer al crecimiento económico, se debe tomar en cuenta la distribución del ingreso, la disminución de la pobreza, el desarrollo social y alcanzar un desarrollo ambiental sustentable (UNCTAD, 1998).

largo plazo los beneficios del crecimiento favorecerán a todos los niveles socioeconómicos aumentando su calidad de vida y disminuyendo las desigualdades en la distribución del ingreso (UNCTAD, 1998).

Esta política implica fundamentalmente la privatización de la economía, el dominio del mercado y el aumento de la inversión extranjera directa para el desarrollo. Asimismo la tecnología se vuelve una variable endógena que puede explicarse mediante los gastos en investigación, desarrollo y educación considerando la existencia de los rendimientos crecientes y la posibilidad de la divergencia (Sala-i-Martin, 1994; Williamson, 1994).

Es importante mencionar que para definir el crecimiento económico de una región (y/o un país, en su caso), los rendimientos crecientes a escala (RCE) son un aspecto fundamental y característicos en actividades como la industria y los servicios y definen la concentración económica regional y urbana.

Los RCE se generan cuando hay un aumento en el total de los factores productivos e insumos, llevando a un incremento más que proporcional en la producción por las indivisibilidades en factores como la fuerza de trabajo y las ventajas de la especialización y la innovación. La existencia de un límite para la producción se debe a restricciones por la extensión y el tamaño del mercado y que ocasionan que los RCE presenten un cambio endógeno que generan una expansión acumulativa y no permiten a las fuerzas del mercado llegar al equilibrio (Asuad, 2001).

El debate reciente que relaciona la economía con el medio ambiente se retoma en la década de los años sesenta debido a la preocupación en los límites naturales de los recursos y en contraste con los planteamientos originados por las teorías de Solow (1955), las cuales señalaban que el agotamiento de los recursos naturales, a causa de las actividades económicas, se sustituirían por trabajo y capital, siendo dicho agotamiento una situación normal por el desarrollo de la economía sin implicar desastre alguno.

A principios de la década de los setenta, Meadows *et al.* (1972), publicaron una investigación donde señala que existen limitantes naturales al crecimiento económico y que siguiendo la tendencia de crecimiento existentes se tendrán repercusiones sobre las materias primas estratégicas, el aumento de la contaminación ambiental y el crecimiento de la población sobrepasaría las posibilidades de abastecimiento y en

general habría problemas globales y falta de sustentabilidad en el futuro y donde una relevante solución sería el desarrollo sustentable (Asuad, 2001).

Por ende, las sociedades occidentales comienzan a tener preocupaciones e inquietudes de tipo ambiental destacando los siguientes sucesos (Labandeira *et al.*, 2007):

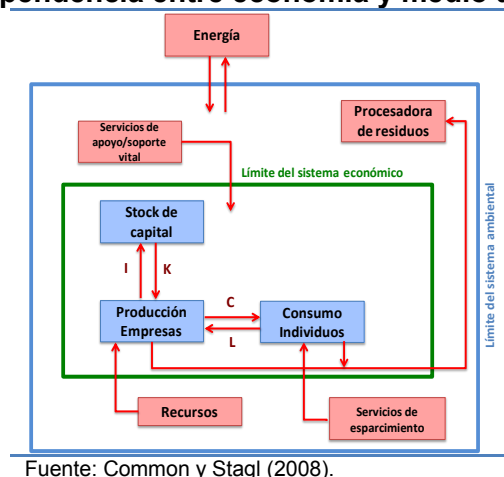
- (1) Las sucesivas crisis petroleras²⁵ originadas por alteraciones en sus precios provocan la reflexión colectiva del problema del agotamiento de los recursos, principalmente en el caso de los energéticos no renovables debido a la creciente y acelerada demanda energética por la producción y el consumo determinados por el modelo energético imperante y que podría imponer un límite al crecimiento económico.
- (2) Se presentan efectos de la industrialización y crecimiento económico acelerados que se reflejan en el grave deterioro del paisaje y en la contaminación del aire y agua que tienen efectos sobre la salud humana y de otras especies, afectando la calidad de vida y generando problemas en el bienestar de generaciones futuras.
- (3) Hay un crecimiento acelerado de la población en los países menos industrializados que ejercen presión sobre los recursos naturales y que genera, entre otras situaciones, incrementos en los niveles de pobreza, extinción de especies y desaparición progresiva de los recursos fundamentales para el equilibrio ecológico del planeta. En consecuencia se presenta la relación de tipo espiral: *población-pobreza-deterioro ambiental*, que tiene efectos a nivel local, regional y global, dando incertidumbre al bienestar intergeneracional.

3.2.2 Interdependencia entre economía y medio ambiente

Existe una relación de interdependencia entre la economía y el medio ambiente que es representada en la Figura 3.1:

²⁵ Se conoce como crisis petrolera cuando los principales países productores y exportadores de petróleo modifican la oferta de este energético (debido a situaciones económicas y políticas) en el mercado mundial, lo cual ocasiona un impacto muy severo sobre los precios del petróleo obligando a diferentes naciones a disminuir la compra del combustible debido al excesivo precio (Krugman y Obstfeld, 2001).

Figura 3.1
Interdependencia entre economía y medio ambiente



La Figura 3.1 indica que el entorno económico es un subsistema del sistema ambiental, es decir, hay una dependencia bidireccional y fundamental entre economía y medio ambiente. Este sistema ambiental es cerrado y desde el punto de vista de la termodinámica se intercambia energía con el medio ambiente, que es el resto del universo.

Esta energía está representada por el sol y el flujo entrante es la radiación solar que es imprescindible para la vida terrestre y en consecuencia el flujo saliente es la radiación térmica que emite el planeta tierra. El equilibrio de estos flujos son modificados por la composición de la atmósfera terrestre que determina la temperatura de la tierra.

Básicamente, en el subsistema económico básicamente existen cuatro servicios que el medio ambiente ofrece a la tierra y que atraviesan su límite (Common y Stagl, 2008):

- (1) Los recursos naturales que se extraen y que son utilizado para la generación de materias primas para la producción.
- (2) El flujo de residuos que se encuentra entre el limite ambiental y económico que son originados por el flujo que ingresa a la economía y posteriormente en la producción y el consumo de los agentes económicos, y el medio ambiente hace la función de procesador o sumidero de residuos presentando una relación entre emisión de residuos y la contaminación ambiental.

- (3) Los servicios de esparcimiento en donde el medio ambiente da la oportunidad de que los seres humanos puedan utilizar diversos recursos naturales para el placer y recreación y que son denominados como servicios ambientales.
- (4) El medio ambiente puede proporcionar servicios de apoyo vital, es decir, que haya condiciones ambientales que los seres humanos puedan tolerar y adaptarse hasta cierto límite y que les permita realizar diversas actividades económicas.

3.3 La Hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental

3.3.1 Definición de la Curva de Kuznets Ambiental

La Curva de Kuznets Ambiental (CKA) o curva *U* invertida de Kuznets prueba que a medida que aumenta el crecimiento económico, el impacto o daño ambiental se va a incrementar en una primera fase, y posteriormente el impacto se equilibrará para entonces disminuir (Ekins, 2000; Common y Stagl, 2008; Labandeira *et al.*, 2007).

El fundamento que se encuentra detrás de esta teoría fue planteado por Simon Kuznets (1955 y 1965), que su hipótesis indicaba que en una economía en crecimiento la relación entre desigualdad de los ingresos y el ingreso per cápita promedio tienen la forma de una curva *U* invertida, es decir, una relación funcional cóncava²⁶. Esto significa que en ingresos per cápita bajos la desigualdad van a aumentar a la par, pero superado determinado nivel de ingreso esa la desigualdad tenderá a disminuir.

Entonces, desde el punto de vista ambiental, los ingresos altos mejoran la calidad de vida de la gente o de un país en general, ya que pueden adquirir más bienes y servicios. Pero ese incremento, tanto de la oferta y la demanda, ocasionará una presión en la utilización de materias primas y diversos tipos de energéticos, principalmente los de origen fósil, obligando a una mayor degradación y contaminación ambiental.

Esto significa que cuando va aumentando el ingreso, la calidad de medio ambiente se va a deteriorar hasta llegar a un determinado nivel (punto de inflexión), resultado de haber llegado a un proceso de industrialización, como el que se presenta en los países en desarrollo.

²⁶ Se define como una función cóncava cuando se tienen dos puntos cualesquiera y el segmento que los une queda por debajo de la curva.

La evidencia histórica señala que los países de altos ingresos, por ejemplo los países de la OCDE, hayan presentado cambios en la estructura de sus economías, debido a sus patrones de crecimiento generando un comportamiento de disminución de tamaño en el sector industrial. Lo que significa que se empieza a hacer mayor uso de mano de obra más capacitada y de bienes de capital que tecnológicamente son más avanzados para transitar hacia el sector servicios, que cada vez tiene más participación en la actividad económica.

Este proceso de transición de los países de altos ingresos se conoce como “post-industrialización”. Entonces, a partir de este punto la calidad ambiental va a mejorar mientras los ingresos sigan aumentando (Kolstad, 2001; Labandeira *et al.*, 2007; Common y Stagl, 2008).

La realidad indica que muchos países con ingreso muy bajos tienen como prioridad la satisfacción de necesidades básicas como la alimentación, el vestido y calzado, vivienda y transporte (Sánchez, 2013).

La hipótesis de la CKA también podría favorecer en la propuesta de soluciones ambientales y económicas en los países pobres, principalmente, buscando que las organizaciones internacionales destinen recursos para generar instrumentos que mejoren el ambiente y protejan los recursos naturales mediante regulaciones más estrictas, el desarrollo de mejores tecnologías y la modificación del crecimiento económico de los sectores más contaminantes (Kolstad, 2001; Molina y Molina, 2005).

3.3.2 Perspectiva teórica de la relación entre el crecimiento económico y el medio ambiente y la Curva de Kuznets Ambiental

La literatura referente a la CKA consiste básicamente en dos áreas de investigación: 1) el área empírica que se basa en la especificación de modelos econométricos y que generalmente recurren a las justificaciones teóricas expost; y 2) el área teórica donde se muestra la interacción entre medio ambiente y crecimiento económico (Costantini y Martini, 2006).

El área o campo teórico se clasifica en 4 categorías (Panayotou *et al.*, 2000):

- i) *Modelos de crecimiento óptimo.* Son modelos dinámicos donde el problema de maximización de la utilidad del consumidor es resuelto con el uso de teorías de técnicas de control óptimo y el stock o flujo de contaminación representa un argumento al mismo tiempo de la función de producción y de la función de utilidad de un consumidor representativo (Selden y Song, 1994; Brock y Taylor, 2004).

Dentro de este tipo de modelos destaca el Modelo Verde de Solow²⁷, donde se presenta reducción de las emisiones cuando se incrementa el progreso tecnológico tanto en bienes de producción como en abatimiento. Asimismo, la transición hacia el crecimiento sustentable está basado principalmente por un empeoramiento de la calidad ambiental y posteriormente el mejoramiento mientras se equilibra el sendero de crecimiento económico.

En el caso del progreso tecnológico, el modelo indica como difiere el impacto ambiental en bienes producidos y en el abatimiento, en primer lugar, se genera una escala de aumento de emisiones; posteriormente, se construye un efecto de tecnología pura llevando al descenso de las emisiones. Por lo tanto, la presencia o ausencia del progreso tecnológico en abatimiento es un factor clave para la reducción de emisiones que apoyan al crecimiento continuo y predice los costos de control de contaminación.

Las reducciones en contaminación se producen solamente por los cambios en la tecnología y no porque la sociedad tenga una gran participación de sus recursos para la prevención de la contaminación.

Además la explicación de la CKA es completamente distinta de la que ofrece en general la literatura, ya que no incluye el efecto composición, el

²⁷ Está basado en la propuesta teórica de Robert Solow (1956) y sus posteriores trabajos sobre el crecimiento y desarrollo económico y que han tenido una importante influencia en el análisis económico siendo la base para poder explicar diversas hipótesis para comprender las causas de porque algunos países tienen niveles de ingresos y tasas de crecimiento más altos que otros países (Jones, 2000; Ros, 2004).

El modelo de crecimiento de Solow (MCS) trata de explicar como una economía converge a un equilibrio de largo plazo y de la configuración de ese estado de equilibrio; además de explicar el valor de equilibrio de la relación capital-trabajo y de los determinantes de la tasa de crecimiento de la economía dentro y fuera del estado de equilibrio (Ros, 2004).

El MCS plantea los siguientes supuestos importantes: los países sólo producen y consumen un único bien homogéneo (producto), la producción se lleva a cabo bajo rendimientos constantes a escala donde las empresas son competitivas y maximizan sus beneficios, la inversión y el desarrollo son iguales donde no hay problemas de demanda efectiva, el mercado de trabajo prevalece en el pleno empleo que es despejado mediante cambios en el salario real y la tecnología es exógena y neutral, es decir, la tecnología disponible para las empresas es afectada por acciones de otras empresas en donde se incluye la investigación y el desarrollo (Ros, 2004; Jones, 2000).

incremento en la intensidad y retornos de abatimiento de la contaminación y la evolución de los procesos políticos y el comercio internacional (Brock y Taylor, 2004; Costantini y Martini, 2006).

- ii) *Modelos donde el medio ambiente es el factor de producción.* En estos modelos el stock de contaminación, el stock de capital natural y los derechos de propiedad tienen relevancia para determinar si la degradación ambiental eventualmente disminuye con el crecimiento económico (López, 1994).

El más usado para ejemplificar este tipo de modelos se refiere a la externalidad de stock en el marco de un crecimiento óptimo, el cual indica que si el ingreso aumenta por encima del sendero de crecimiento, tanto los beneficios y los costos marginales del control de contaminación también aumentan, por lo que si supera al anterior ingreso dado, la curva de emisiones tiene pendiente negativa.

La variación de los parámetros específicos de contaminación (que determinan los beneficios y costos marginales) causa relaciones específicas de ingreso y emisiones y, en consecuencia, la curva de emisiones puede tener pendiente ascendente o constante aún cuando la calidad ambiental es un bien normal.

El intercambio entre los costos y beneficios marginales es muy sensible para parámetros específicos de contaminación, por lo que la relación entre calidad ambiental y crecimiento económico depende, generalmente, de cual sea la medida de calidad ambiental usada (Kelly, 2003; Costantini y Martini, 2006).

- iii) *Modelos de crecimiento endógeno.* En estos modelos, las funciones de producción están caracterizadas por los rendimientos crecientes a escala y los efectos *spill over* de manera que son diferentes a la especificación neoclásica (Stokey, 1998).

En este rubro existen modelos planteados que son muy similares al Modelo Verde de Solow (Bovenberg y Smulders, 1995) cuando toman en cuenta el progreso tecnológico, ya que las inversiones en curso en el sector de conocimiento aumentan la productividad del abatimiento de la

contaminación llevando a un sendero de crecimiento equilibrado con determinado nivel de calidad ambiental.

Por otra parte, autores como Stokey (1998) proponen modelos donde difieren con respecto al progreso tecnológico y predicen la trayectoria de la CKA mediante el cambio en una política de contaminación a lo largo de una ruta de transición destacando el papel del abatimiento que puede ayudar a mejorar el medio ambiente con el tiempo.

- iv) *Otros modelos macroeconómicos de crecimiento y medio ambiente.* Están basados en resultados de los modelos de crecimiento óptimo y que son generalizados (Jones y Manuelli, 2000); además, se pueden adaptar modelos estáticos (Stokey, 1998) o modelos tipo Robinson Crusoe (Andreoni y Levinson, 2001).

En este rubro existen modelos estáticos microfundamentados, donde se presenta la relación ingreso y contaminación y que muestran que la curva óptima que relaciona estas variables, es una U invertida, si y solo sí, la tecnología de abatimiento ha incrementado sus rendimientos de escala.

Por lo tanto, la CKA no depende de los cambios en las preferencias a medida que crece el ingreso y está relacionado con la tecnológica entre consumo y contaminación. Los gastos en abatimiento reducen la contaminación generada por el consumo. Si se presenta el caso donde el abatimiento tiene rendimientos crecientes a escala, la meta de más consumo con menos contaminación por el aumento individual del ingreso, puede ser más fácilmente lograda (Costantini y Martini, 2006).

Existen también modelos llamados de generaciones superpuestas, en donde las decisiones de las empresas entre diferentes tecnologías están influenciadas no solo por el precio, sino también, por las restricciones de uso impuestas por los gobiernos, es decir, las empresas asumen que el gobierno establece impuestos específicos con el objetivo de controlar la contaminación.

La política pública es endogenamente determinada y se presentan dos ajustes donde interviene la participación de la mayoría para definir la

protección ambiental mediante el voto en los cambios de los flujos y donde la trayectoria de la contaminación se comporta como una U invertida; o sobre la regulación de la tecnología donde el nivel de contaminación monotonamente aumenta a un nivel determinado como el crecimiento del consumo.

En ambos casos, los supuestos sobre el medio ambiente señalan que se trata de un bien de lujo con un elemento fundamental donde, si las preferencias son homotéticas, la contaminación crecerá sin límite (Jones y Manuelli, 2000; Costantini y Martini, 2006).

3.3.3 Aspectos relevantes detrás de la Curva de Kuznets Ambiental

La literatura y la evidencia empírica han detectado diversas fuerzas motrices o causas que están detrás del comportamiento de la CKA siendo las más importantes (Di Falco, 2005):

- a) *La relación entre la demanda de calidad ambiental y el ingreso.* La calidad ambiental se considera como un “bien de lujo” que depende fuertemente de la elasticidad ingreso. Esto significa que las economías con un alto ingreso tienden a demandar más y mejores servicios ambientales debido a su relación con la subsistencia y que cada vez es menor conforme su ingreso aumenta y que es destinado a otras actividades como mejorar al medio ambiente. En los países con ingresos bajos sucede lo contrario, debido a que la elasticidad ingreso destinada a cubrir sus necesidades básicas es muy alta y no pueden ocuparse de manera comprometida con aspectos ambientales.

- b) *La hipótesis estructural de las economías.* El crecimiento económico presenta un proceso de transición estructural, es decir, la economía comienza por dedicarse al sector agropecuario siendo intensiva en recursos, después transita hacia la industria, que es intensiva en la generación de contaminación, y posteriormente moverse hacia un modelo de crecimiento basado principalmente en el sector servicios que es intensivo en la creación y uso de tecnología y es menos contaminante.

En general, este comportamiento se puede explicar por las relaciones no monotónicas entre la degradación ambiental y el ingreso per cápita, que sugiere que conforme crece la economía mejorará la calidad ambiental.

Es importante tener en consideración esta hipótesis estructural, ya que si es aceptada, se estaría argumentando la idea donde la experiencia de todos los países tienen los mismos escenarios de desarrollo y la misma transición estructural y que esos escenarios de desarrollo económico son causados por un proceso determinístico como lo muestra la mayoría de la evidencia empírica de la CKA.

- c) *El comercio internacional*. El libre comercio y sus diversas políticas comerciales son favorables para una mejor calidad ambiental, ya que se presenta una mejor circulación de tecnología.

Esto significa que la relación medio ambiente–comercio funciona con tres mecanismos: (i) los cambios en la escala de producción; (ii) la composición y (iii) la tecnología. La existencia de mejores condiciones ambientales dependerá si el país ha alcanzado cierto nivel de ingreso per cápita (Grossman y Krueger, 1991).

La apertura comercial es un importante aspecto que motiva la competencia de las empresas y mejora la tecnología. Esto a su vez hace más eficiente el uso de recursos, generando un impacto menor al medio ambiente. Asimismo existe evidencia empírica que demuestra que comportamiento de las exportaciones e importaciones modifican la pendiente de la CKA (Suri y Chapman, 1998; Zilo y Caraballo, 2014).

De acuerdo con Cole (2004), la influencia del comercio exterior con las emisiones de GEI es relevante y plantean la llamada *Hipótesis de Refugio de Contaminantes (Haven Pollution Hypothesis)* donde las industrias más contaminantes se relocalizan en países donde las regulaciones ambientales son muy débiles o nulas con el fin de evitar las legislaciones ambientales vigentes en los países desarrollados.

- d) *Otras fuerzas motrices*. Existen factores importantes como la tecnología y la investigación y el desarrollo (R&D) en universidades y empresas privadas que pueden contribuir al mejoramiento ambiental.

Los avances en la tecnología generan cambios en la productividad en términos de menor uso, *ceteris paribus*, de insumos contaminantes por unidad de producto. Un incremento del total de los factores productivos será resultado de bajas emisiones por unidad de producto, aunque esto no es necesariamente una consecuencia esperada (Stern, 2004).

Autores como Pezzey (1989) y Opschoor (1990) mencionan que si el efecto a largo plazo de algunas fuerzas motrices, como tecnología, el uso de recursos y/o las oportunidades de abatimiento, han sido agotados o son demasiado costosos, el crecimiento en el ingreso provocará nuevamente degradación ambiental, que modificará la función de la CKA de cuadrática sino cúbica (en forma de “*n*”) por un largo periodo de tiempo.

En consecuencia, las fuerzas que están detrás del comportamiento de la CKA pueden sintetizarse como (Grossman y Krueger, 1991; Aslanidis, 2009): a) *el efecto escala*, donde un crecimiento de gran escala lleva a un deterioro ambiental y a más uso de energía; b) *el efecto composición*, donde el crecimiento del ingreso tiene un impacto positivo en el medio ambiente debido a que cambia la estructura productiva de la economía, es decir, se modifica la estructura sectorial como ocurre en los países desarrollados donde se transita del proceso de industrialización al sector servicios mejorando la calidad ambiental; y finalmente c) *el efecto tecnológico*, que mediante la inversión, podrá sustituir de manera general las tecnologías obsoletas y contaminantes por otras más limpias que mejorarán la calidad del medio ambiente.

3.3.4 La controversia de la Curva de Kuznets Ambiental

Al igual que muchas otras teorías económicas, la CKA no está exenta de controversia como lo han mostrado los estudios realizados al respecto. De manera general, se indica que la aplicación de esta teoría en determinados indicadores ambientales, no es decisiva, debido a su relación compleja, lo que genera diferentes resultados según el tipo y origen del contaminante. De la misma forma, existe una influencia importante de factores como las condiciones geográficas, espaciales, demográficas, económicas y tecnológicas, principalmente.

Se ha demostrado que la CKA ha presentado resultados interesantes en grupos de contaminantes como el plomo de los combustibles, el CO y CO₂, el bióxido de azufre (SO₂), las partículas suspendidas, entre otros (Molina y Molina, 2005).

La relevancia del comportamiento mutuo entre los productores y los consumidores ante cambios en los patrones de producción no son acompañados de un cambio en los patrones de consumo debido a que los efectos ambientales, por el efecto composición, son desplazados de un país a otro en lugar de reducirse y en consecuencia, la disminución en el impacto ambiental no estará disponible en los países en desarrollo (Rothman, 1998). Asimismo, la correlación entre contaminantes e ingreso sólo será aplicable a un conjunto seleccionado de ellos debido a que crean costos locales en el corto plazo (Arrow *et al.*, 1995).

La CKA no toma en cuenta la sustentabilidad ecológica, ni el efecto espacial, ya que la reducción en un contaminante en un determinado país podría generar incrementos en otros contaminantes en el mismo país o transferirlos a otras naciones.

Por lo tanto, Stern *et al.* (1996) y Stern (1998) exponen algunas críticas económicas importantes que han aparecido debido a los estudios que se han realizado en diversos países y a nivel global.

Entre las críticas más importantes destacan:

- (1) *Existencia unicamente de causalidad unidireccional.* Muchas investigaciones señalan que sólo existe causalidad de crecimiento a calidad ambiental y en consecuencia no existe una retroalimentación por lo que el daño ambiental es irreversible. Una especificación sencilla de la CKA no considera los daños ambientales o las fronteras de posibilidades de producción de una economía.
- (2) *Análisis de concentraciones vs emisiones de contaminantes.* Muchos estudios de la CKA usan tanto concentraciones como emisiones de contaminantes, esto por la disponibilidad y calidad de los datos del país o región que se esté analizando, causando controversia.

Por lo tanto, se sugiere que el uso de emisiones probablemente es mejor indicador que las concentraciones, en primer lugar porque se reflejan las fuentes de emisión y se captura su composición; en segundo lugar, porque el

uso de concentraciones solo es más relevante cuando se analizan áreas urbanas y sus efectos en la salud humana, por ejemplo; y en tercer lugar, las concentraciones no podrían reflejar la contaminación producida en el lugar y pueden ser afectadas por las condiciones climáticas.

- (3) *Aislamiento*. Cuando se analiza la CKA y se aíslan otros problemas ambientales se pueden obtener escenarios parciales y/o engañosos del real estado del medio ambiente.

Ante la inexistencia de cambios en la estructura de la economía que sean acompañados de una variación en la tecnología, el crecimiento de la economía generará incrementos en la contaminación y en otros impactos ambientales provocando el efecto escala que se basa en que el desarrollo económico y la calidad ambiental son metas contradictorias (Stern, 2004).

3.4 Origen de la Curva de Kuznets Ambiental

De acuerdo con Munasinghe (1999) y Granja (2002) para explicar el surgimiento de la CKA en un determinado país o región se debe iniciar con un modelo donde la economía es perfectamente competitiva y en el siguiente escenario se consideran las imperfecciones del mercado.

Bajo el supuesto de que un agente (consumidor o empresa) en determinado lugar desea maximizar sus beneficios netos (BL) cuando los beneficios (B) y los costos (C) son dependientes del nivel de ingreso per cápita (Y) y de la calidad ambiental (E) (también denominada como degradación ambiental), esto se representa como:

$$MaxBL = B(E, Y) - C(E, Y) \quad (3.1)$$

Entonces, en cualquier nivel de ingreso los individuos desean maximizar BL en un nivel donde los beneficios marginales o la voluntad pagar para cierta calidad ambiental es igual al costo marginal para obtener dicha calidad. Por lo tanto, las condiciones de primer orden que garantiza lo anterior es:

$$MB - MC = 0 \quad (3.2)$$

Donde $MB = \frac{\delta B}{\delta E}$ y $MC = \frac{\delta C}{\delta E}$

El aspecto clave es analizar como el equilibrio (en el punto E^*Y) es afectado por cambios en el ingreso. Consecuentemente, la ecuación (3.2) lleva a la diferenciación en relación al ingreso como:

$$(MB_Y - MC_Y)\delta Y + (MB_E - MC_E)\delta E = 0 \quad (3.3)$$

Donde $MB_i = \frac{\delta MB}{\delta i}$ y $MC_i = \frac{\delta MC}{\delta i}$ para $i = Y, E$.

La ecuación (3.3) relaciona a Y y E en un nivel donde la degradación ambiental E^* es optimizada por determinado nivel de ingreso y que puede representarse como:

$$\delta E = \alpha \delta Y \quad (3.4a)$$

En que se tiene:

$$\alpha = \left[\frac{\partial E}{\partial Y} \right]_{E=E^*} = \frac{(MB_Y - MC_Y)}{(MC_E - MB_E)} \quad (3.4b)$$

Las ecuaciones anteriores indican que si el término $\alpha > 0$, la degradación ambiental se incrementa cuando el ingreso per cápita aumenta, en otras palabras, el signo de $\left[\frac{\partial E}{\partial Y} \right]$, de acuerdo con el modelo de la U invertida, cambia de positivo a negativo en un nivel dado de ingreso.

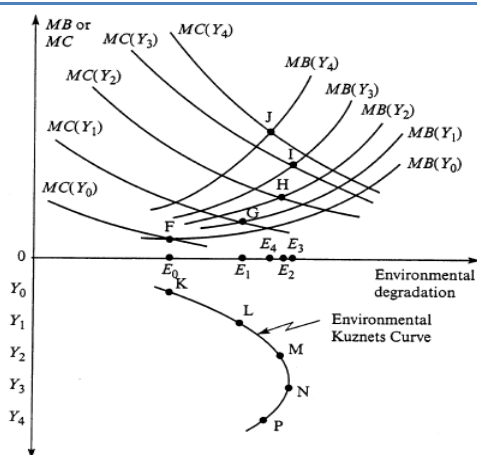
La ecuación (3.4b) representa la voluntad a pagar para mejorar el medio ambiente a través de una curva positiva de coeficientes donde $MB_E > 0$. Esto explica el porqué de los puntos que representan altos niveles de degradación ambiental tendrán una voluntad a pagar más alta para el mejoramiento del medio ambiente.

Además, la curva de costo marginal para revertir el daño ambiental tiene un coeficiente negativo ($MC_E < 0$). Esto explica como una sucesiva reducción en el nivel de degradación ambiental incrementará los costos y por lo tanto, el denominador de la ecuación (3.4b) será negativo y el signo del término $\left[\frac{\partial E}{\partial Y} \right]$ es opuesto al numerador ($MB_Y - MC_Y$).

Este último término, tiene atribuciones para esperar que tienda a ser negativo, por ejemplo, cuando los daños ambientales empeoren con el aumento del ingreso, especialmente cuando estos son fallas económicas y no funcionan bien los mercados.

Los bienes ambientales tienen la elasticidad ingreso más alta que los bienes normales de mercado. Además, estos bienes, por su unicidad, muestran una elasticidad baja de sustitución. La derivación de la CKA se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2
Derivación de la curva de Kuznets ambiental



Fuente: Munasinghe (1999) y Granja (2002).

Por lo tanto, las curvas MB y MC varían paraméricamente con los incrementos en el ingreso. Entonces, ante bajos niveles de desarrollo e ingreso ($MB(Y_0)$) y ($MC(Y_0)$) su punto de intersección se representa en F .

Cuando se presenta crecimiento económico y en consecuencia, un aumento en el ingreso, las curvas MB se mueven de manera ascendente siguiendo los diversos niveles de ingreso $Y_0 < Y_1 < \dots < Y_4$.

Por otro lado, si $MB_{YY} > 0$, es decir, que la curva MB se mueve de manera ascendente a las tasas de crecimiento, la gente apreciará más los bienes y servicios ambientales y presenta una mayor voluntad a pagar por ellos conforme incrementa su ingreso.

Cuando la curva de costos marginales $MC(Y_0)$ es baja a causa de la degradación y existencia de bajo nivel de desarrollo económico, su función no es relevante. No obstante, los costos marginales de la protección ambiental se incrementarán rápidamente tan pronto como la economía se desarrolle y crezca el ingreso al pasar de escenarios iniciales de desarrollo industrial y experimentando incrementos en los

niveles de contaminación. Estos efectos ocurren en la fase de desarrollo económico y por el incremento en el uso de recursos naturales y generación de contaminación y que pueden ser mitigados, aparte de otros elementos, mediante el uso del conocimiento y tecnología.

Cuando se presentan escenarios donde $CM_Y > BM_Y > 0$, además de que (Y) es baja en un desarrollo continuo de la economía y en una fase post-industrial, se puede presentar el *efecto tecnología* el cual mediante recursos humanos y el mejoramiento de la ciencia y tecnología reducirán marginalmente el abatimiento y los costos protegidos con altos niveles de ingreso.

También se puede presentar el *efecto composición* que puede estar relacionado con los cambios estructurales de la economía y donde el sector servicios tener una importante participación porcentual en PIB. En un contexto como este, CM_Y muestra una tendencia a reducirse con el incremento del ingreso mediante una notable conciencia ambiental (por ejemplo cuando $CM_{YY} < 0$).

Todos estos argumentos están basados en el comportamiento del término $(MB_Y - MC_Y)$ que tendría un efecto positivo en escenarios iniciales de desarrollo económico, pero se convertiría en negativo después de que el nivel de ingreso sea registrado.

Las curvas MB y CM se interceptan en los equilibrios F, G, H, I y J que representan los puntos de maximización de la ecuación (3.2). Respecto al orden de pares (E_i, Y_i) con $i = 0$ a 4 , se definen los puntos K, L, M, N y P que son los que forman la CKA. Este proceso daría fácilmente el efecto de la CKA que corresponden a las condiciones de $\alpha > 0$ y $\alpha < 0$ respectivamente y donde las ineficiencias económicas pueden generar mayores trayectorias que solo pueden ser corregidas mediante políticas que permitirían llegar a un comportamiento de tipo CKA.

En el escenario de equilibrio competitivo, descrito anteriormente, el óptimo de Pareto garantiza que el nivel de degradación ambiental sea socialmente deseable en la curva completa. Sin embargo, es posible identificar situaciones donde las imperfecciones de la economía proporcionan un patrón no óptimo o económicamente ineficiente. Entonces, las curvas BM y CM , basadas en las decisiones de los consumidores y productores, podrían diferir de la curva óptima social resultando un nivel de degradación más alto que lo socialmente deseable.

Otro factor importante que podría afectar la demanda de la calidad ambiental son las fallas de mercado. Por otro lado, la escasez de información sobre las consecuencias de la degradación ambiental en la salud humana y el bienestar podrían ser resultado de un nivel bajo de educación que puede generar una baja voluntad a pagar por los consumidores.

Los grupos sociales con bajos niveles de educación podrían estar directamente expuestos a los impactos de la contaminación y, en consecuencia, no podrían estar conscientes de los daños causados sobre su salud. Ante esto, el incremento en la curva *BM* podría registrar tasas bajas aunque el ingreso aumente y como resultado se obtendrá un proceso donde el nivel de daño sería más alto que el socialmente óptimo.

También el bajo nivel educativo de algunos los agentes económicos pueden transferir sus responsabilidades a otros agentes provocando externalidades y donde no hay ningún pago o existen pagos muy bajos por la utilización de recursos naturales o por la contaminación emitida y por ende, están transfiriendo parte de sus costos a la sociedad como un todo. Una parte significativa de esta sociedad podría estar mal informada acerca de las consecuencias de la degradación, por lo que no ejercerían presión sobre sus determinados gobiernos para cumplir con los estándares ambientales.

El aspecto de la pobreza también tiene efectos importantes sobre el medio ambiente pues muchos de los problemas sociales significarían que una parte de la población está por debajo de la “línea de pobreza” que está más consiente de satisfacer sus necesidades básicas (alimentos, vivienda, vestido y calzado, seguridad, etc.) que obtener una mayor calidad ambiental. Esto significa que un determinado país o región con altos niveles de pobreza a causa de bajos nivel de ingreso generan externalidades y presiones sobre los gobiernos y los estándares ambientales causando severas ineficiencias en las decisiones de protección ambiental.

3.5 Especificación del modelo de la Curva de Kuznets Ambiental

De acuerdo con el modelo original de Kuznets (1955 y 1965) y la evidencia empírica de las últimas décadas, se han llevado a cabo modificaciones en su especificación y aplicación a los casos ambientales hasta llegar a la siguiente ecuación (Ekins, 2000):

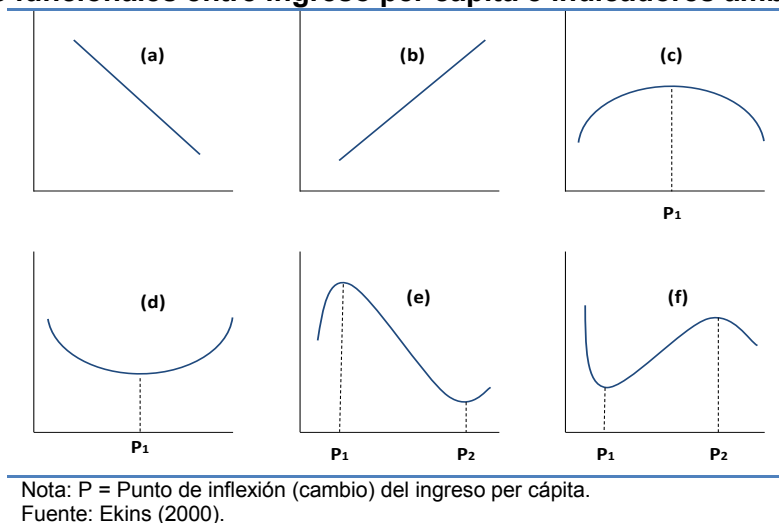
$$f(E_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 g_1(Y_{it}) + \alpha_2 g_2(Y_{it}^2) + \alpha_3 g_3(Y_{it}^3) + \alpha_4 g_4(Y_{it-a}^n) + \beta \cdot B + \gamma \tau + \varepsilon_{it} \quad (3.5)$$

Donde E_{it} representa un indicador ambiental de un país o región i en el tiempo t ; α, β y γ son los parámetros que deben ser estimados; Y_{it} es el ingreso per cápita un país o región i en el tiempo t ; Y_{it-a}^n es un término polinomial de ingreso per cápita; B es un vector de que representa otras variables explicativas que pueden incluir diversas variables económicas y/o de tipo dummy para capturar las influencias específicas de demografía, geografía o determinados años; finalmente $f(\cdot)$ y $g(\cdot)$ son las formas funcionales que son predominantes pero no exclusivamente de tipo logaritmo o lineal.

Los posibles resultados obtenidos en los parámetros estimados pueden determinar las siguientes formas funcionales (ver también la Figura 3.3):

- (a) Lineal, pendiente descendente: $\alpha_1 < 0, \alpha_2 = \alpha_3 = 0$
- (b) Lineal, pendiente ascendente: $\alpha_1 > 0, \alpha_2 = \alpha_3 = 0$
- (c) Cuadrática, U invertida: $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 = 0; |\alpha_2| \ll |\alpha_1|$
- (d) Cuadrática, U normal: $\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 = 0; |\alpha_2| \ll |\alpha_1|$
- (e) Cubica: $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 > 0; |\alpha_3| \ll |\alpha_2| \ll |\alpha_1|$
- (f) Cubica: $\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 < 0; |\alpha_3| \ll |\alpha_2| \ll |\alpha_1|$

Figura 3.3
Formas funcionales entre ingreso per cápita e indicadores ambientales



Los posibles parámetros obtenidos de la ecuación 3.5 dan evidencia de una forma funcional cuadrática (ver panel (c) en la Figura 3.3). Asimismo el punto de inflexión per cápita del ingreso (φ) representa el indicador ambiental que es maximizado mediante el siguiente calculo:

$$\varphi = -\frac{\alpha_1}{2\alpha_2} \quad (3.6)$$

En el planteamiento teórico de la CKA está presente el concepto de las externalidades, que se manifiestan cuando las elecciones de consumo o producción de un agente económico (persona o empresa) se incorporan en la función de utilidad o producción de otra entidad sin el permiso o la compensación de esa entidad (Kolstad, 2001). También una externalidad se puede definir como la situación donde el consumo de un bien por parte de un agente genera beneficios o costos a otro agente (O´ Sullivan, 2000).

La externalidad se define mediante las funciones de utilidad como $U(c, e)$, donde c es una cesta de bienes seleccionados para el consumo y e son los índices de contaminación que no son deseados por el consumidor se consideran una externalidad de consumo (O´Sullivan, 2000). Relacionado con las externalidades está el concepto de eficiencia, que señala que la actividad económica debe aumentar hasta un punto donde el beneficio social marginal debe ser igual al costo social marginal.

Por lo tanto, una externalidad puede causar una divergencia entre los beneficios sociales y privados o entre los costos sociales e individuales, presentandose el caso en donde producción que genera ganancias en una empresa son afectadas de manera involuntaria por otra empresa. Las externalidades o deseconomías producen lento crecimiento en las actividades económicas a causa del desempleo y la subutilización de la capacidad instalada. La generación de externalidades depende del tipo de competencia y organización de los mercados en donde se desarrollen (Asuad, 2001).

3.6 Evidencia empírica internacional de la Curva de Kuznets Ambiental

La CKA es un tema relevante, por lo que se han realizado un sinnúmero de estudios a nivel internacional buscando aceptar o rechazar la hipótesis de su existencia. En el Cuadro 3.1 se resumen los resultados de algunas destacadas investigaciones acerca de la CKA. Esta evidencia ofrecerá un panorama más amplio y para identificar de las variables más relevantes.

Cuadro 3.1
Resumen de la evidencia empírica sobre la CKA.

Autores	Lugar y periodo	Contaminantes (variables endógenas)(*)	Variables exógenas	Metodología	Evidencia de CKA – Punto de inflexión (promedio o rango)
Grossman y Krueger (1991)	52 ciudades de 32 países (1977, 1982 y 1988)	Concentraciones de SO ₂ , humo fino y SPM	PIB per cápita, densidad de población, variables dummies locales y tendencia	Panel	\$7,132-8,915 dls
Shafik y Bandyopadhyay (1992)	149 países (1960-1990)	Falta de agua potable, falta de saneamiento urbano, SPM, SO ₂ , cambios en cobertura forestal, tasa de deforestación, oxígeno disuelto en ríos, bacterias fecales en ríos, desechos municipales per cápita y emisiones de carbón per cápita	PIB per cápita y tendencia	Panel	Contaminantes del aire: \$4,483-5,978 dls. y tasa de deforestación: \$2,989 dls
Panayotou (1993)	55 países desarrollados y en desarrollo (1987-1988)	Emisiones de SO ₂ , NOx, SPM y tasa de deforestación	PIB per cápita, densidad de la población y variables dummies para los países tropicales	Panel	SO ₂ : \$5,444 dls., NOx: \$9,981 dls., SPM: \$8,166 dls. y deforestación: \$1,494 dls
Selden y Song (1994)	30 países (1973-1975, 1979-1981 y 1982-1984)	Emisiones de SO ₂ , NOx, SPM y CO	PIB per cápita y densidad de la población	Panel	SO ₂ : \$11,473 dls., NOx: \$14,777 dls., SPM: \$13,554 dls. y CO: \$7,855 dls
Cropper y Griffiths (1994)	Africa, América Latina y Asia (64 países en total) (1961-1991)	Tasa de deforestación	PIB per cápita, densidad de población rural, tasa de crecimiento de la población, precio de la madera, tasa de crecimiento del PIB per cápita, variables dummies locales y tendencia	Panel	Africa: \$6,271 dls. promedio por país y América Latina: \$7,140 dls. promedio por país
Shafik (1994)	47 ciudades de 31 países (1972-1988)	Concentraciones de SO ₂	PIB per cápita, tendencia y variables dummies locales	Panel	\$5,769 dls
Grossman y Krueger (1995)	39 países (1977, 1982 y 1988)	Contaminación del aire urbano, el estado de oxígeno, contaminación fecal y por metales en las cuencas	nd	nd	\$10,251 dls. en promedio
Stern, Common y Barbier (1996)	Estimación y proyección a nivel Mundial basados en los resultados de Panayotou (1993) (1990-2025)	Emisiones de SO ₂ y tasa de deforestación	Crecimiento de la economía mundial y de la población	MCO	SO ₂ : \$5,914–10,651 dls. y tasa de deforestación: 18.4–9.7 millones de km ² en 2025
Panayotou (1997)	Ciudades de 30 países desarrollados y en desarrollo (1984)	Concentraciones de SO ₂	PIB per cápita, densidad de población y variables de política	Sección cruzada	\$10,825 dls
Cole, Rayner y Bates (1997)	11 países de la OCDE (1970-1992)	Emisiones de SO ₂	PIB per cápita, variables dummies por país y nivel de tecnología	Panel	\$22,014 dls
Kauffman, Davidsdottir, Garnham y Pauly (1998)	13 países desarrollados y 10 en desarrollo (1974-1989)	Concentraciones de SO ₂	PIB per cápita, PIB/área y exportaciones de hierro y acero/área	Sección cruzada y Panel	\$5,444-22,684 dls
Torras y Boyce (1998)	Número desconocido de ciudades en 42 países (1977-1991)	Concentraciones de SO ₂	PIB per cápita, desigualdad del ingreso, alfabetismo, derechos políticos y civiles, urbanización, variables dummies locales	Panel	\$6,936 dls
Unruh y Moomaw (1998)	16 países de la OCDE (1950-1992)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita	Panel	\$20,735 dls
Suri y Chapman (1998)	33 países (1971-1991)	Contaminantes relacionados directamente con el uso de energía	PIB per cápita, Proporción de la manufactura en el PIB y comercio exterior de manufacturas	Panel	\$99,811 dls
de Bruyn, van den Bergh y Opschoor (1998)	Holanda, Reino Unido, Estados Unidos y Alemania Occidental (1960-	Emisiones de CO ₂ , NOx y SO ₂	PIB per cápita e índice de precios de la energía industrial	MCO	Hay evidencia de CKA pero no se calculan puntos de inflexión

	1993)					
List y Gallet (1999)	50 estados de Estados Unidos (1929-1994)	Emisiones de SO ₂	PIB per cápita	Panel		\$1,997–38,604 dls
Magnani (2000)	Países de la OCDE (1980-1991)	Gasto público per cápita para la protección ambiental	PIB per cápita, coeficiente de Gini y ratios entre ingreso y población del primero y cuarto quintil	Panel		\$20,668–25,406 dls
Stern y Common (2001)	73 países desarrollados y en desarrollo (1960-1990)	Emisiones de SO ₂	PIB per cápita, tendencia y efectos por país	Panel		\$151,192 dls
Magnani (2001)	152 países (1970, 1975, 1980, 1985 y 1990)	Emisiones de NO ₂	PIB per cápita y variables dummies	Sección cruzada y panel		\$12,164-16,219 dls
Anderson y Cavendish (2001)	China e India (nd) y países en desarrollo	Emisiones de SO ₂ y CO ₂	PIB per cápita y variables de progreso técnico	Modelos de simulación dinámica		China (SO ₂): \$5,515 dls. India (SO ₂): \$3,309 dls. Países en desarrollo (CO ₂): \$5,515 dls
Roca y Alcántara (2001)	España (1972-1997)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, intensidad energética e índice de descarbonización	Correlaciones entre las variables		No hay evidencia de CKA
Hung y Shaw (2002)	Taiwan (1988-1997)	Concentraciones de NO ₂ y CO	PIB per cápita y en ecuación auxiliar: capital humano, empleo y gasto de gobierno	Panel		NO ₂ : \$13,896 dls. y CO: \$7,418 dls
Granja, Mendonca y Nogueira (2002)	Brasil (1995-1996)	Disponibilidad a pagar por bienes y servicios ambientales	PIB per cápita, nivel educativo, opinión de conservación ambiental, número de miembros de la familia, edad de los individuos, residencia.	Probit		Hay evidencia de CKA pero no se calculan puntos de inflexión
de Groot, Whitagen y Minliang (2002)	30 regiones de China (1982-1997)	Contaminación del agua, aire y residuos sólidos	PIB per cápita	Sección cruzada		Evidencia de CKA con pronóstico de reducción del 17% anual de contaminación hacia el 2050
Vasquez y García (2003)	Aburrá-Colombia (1984-2000)	Generación de residuos sólidos	PIB per cápita y tendencia	MCO		Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión
Simioni (2003)	Sao Paulo, Brasil y Santiago, Chile (nd)	Contaminantes del aire	PIB per cápita	MCO		Hay evidencia de CKA y se pronostican reducciones del 50% en los contaminantes durante la próxima década
Gallagher (2004)	México (1985-1999)	Contaminantes del aire (SO _x , NO _x , CO y SPM)	PIB per cápita	MCO		\$7,752-15,505 dls
Rupasingha, Goetz, Debertin y Pagoulatos (2004)	3,029 condados de Estados Unidos (1997)	Contaminantes tóxicos del aire, agua, suelos y emisiones	PIB per cápita, diversidad étnica, densidad de población, grado escolar, inequidad, variables espaciales urbanas y regionales, empleo en manufacturas	Tobit (econometría espacial)		\$32,070 dls
Di Falco (2005)	Provincias de Italia (1990)	Emisiones de SO ₂ y CO	PIB per cápita	MCO y regresión Kernel		Ambas metodologías indican evidencia de CKA y encuentran diferencias notables en los puntos de inflexión con diferencias de 2.5% para SO ₂ y 2.1% para CO
Galindo (2005)	Zonas metropolitanas de México (1986-2003)	Concentración de O ₃ y emisiones de CO y NO ₂	PIB per cápita	MCO		\$1,566 dls
Galeotti, Lanza y Pauli (2006)	Países de la OCDE (1950-1997)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita	Panel		\$17,366 dls
Maddison (2006)	135 países (1990 y 1995)	Emisiones de SO ₂ , NO _x , VOC y CO	PIB per cápita y tendencia	Panel (econometría espacial)		Hay evidencia de CKA para cada país pero no se calculan puntos de inflexión
Ang (2007)	Francia (1960-2000)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita y uso de energía per cápita comercial	Cointegración (Johansen)		Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión

Li, Grijalva y Berrens (2007)	141 estudios (1992-2005)	Variable tricotómica entre la relación medio ambiente-ingreso	PIB per cápita	Meta-análisis	\$37,217 dls
Apergis y Payne (2009)	Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá (1971-2004)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita y uso de energía per cápita	Panel cointegrado (FMOLS-Fully Modified OLS) y MCE	Hay evidencia de CKA para cada país pero no se calcula puntos de inflexión
Fodha y Zaghdoud (2010)	Túnez (1961-2004)	Emisiones de CO ₂ y SO ₂	PIB per cápita	Cointegración (Johansen)	\$1,744 dls-\$4,359 dls
Lipford y Yandle (2010)	G8 + 5 (1950-2004)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita	Panel	\$44,237 dls
Iwata, Okada y Samreth (2010)	11 países de la OCDE (Belgica, Canadá, Finlandia, Alemania, Japón, Corea, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos) (1960-2003)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, electricidad producida por fuentes nucleares, comercio como porcentaje del PIB y consumo de energía per cápita	ARDL	Hay evidencia de CKA para cada país pero no se calcula puntos de inflexión
Itkonen (2010)	Fracia (1960-2006)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita y uso de energía	Cointegración (Johansen)	Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión
Orubu y Omotor (2011)	47 países de África (1990-2002)	Contaminantes: SPM (aire) y OWP (agua)	PIB per cápita, densidad de población, tasa de alfabetismo y variables dummies de política	Panel	SPM: \$209 dls. y OWP: \$1,706 dls
Xu (2012)	China (1980-2008)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, consumo de energía per cápita y ratio de apertura comercial	Cointegración (Engle-Granger)	\$4,341 dls
Goldman (2012)	120 estudios (1992-2012)	Variable tricotómica entre la relación medio ambiente-ingreso	PIB per cápita	Meta-análisis (Modelo logit multinomial)	Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión
Fan y Zheng (2013)	Provincia Sichuan, China (1985-2010)	Emisiones industriales	PIB per cápita	MCO	Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión
Al Sayed y Sek (2013)	40 países clasificados en desarrollados y en desarrollo (1961-2009)	Emisiones de CO ₂ , SO ₂ , BOD, SPM y GEI	PIB per cápita	Panel	Países desarrollados: CO ₂ : 41,368.49 dls, SO ₂ : 3,477.73 dls, BOD: 18,840.24 dls, SPM: 8,447.85 dls y GEI: 7,690.7 dls. Países en desarrollo: CO ₂ : 6,196.54dls, SO ₂ : 44298.86dls, BOD: 6,404.18 dls, SPM: no hay evidencia empírica de CKA y GEI: 1,748.3 dls
Zilio y Caraballo (2014)	21 países de América Latina y el Caribe (1960-2008)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, término autorregresivo del CO ₂ , valor agregado de la industria, importaciones netas de energía y apertura comercial	Modelos semiparamétricos	No hay evidencia de CKA
Cho, Chu y Yang (2014)	Países de la OCDE	Emisiones de CO ₂ , N ₂ O y CH ₄	PIB per cápita, consumo de energía per cápita	Panel cointegrado (FMOLS-Fully Modified OLS)	Hay evidencia de CKA pero no se calculan puntos de inflexión
Farhani, Mrizak, Chaibi y Rault (2014)	10 países de oriente medio y África del norte (1990-2010)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, consumo de energía, valor agregado de la manufactura; apertura comercial e índice de desarrollo humano	Panel cointegrado (FMOLS-Fully Modified OLS)	Hay evidencia de CKA pero no se calculan puntos de inflexión
Al-Mulali, Saboori y Ozturk (2015)	Vietnam (1981-2011)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, consumo de electricidad por fuentes fósiles y renovables, capital, empleo, exporaciones e importaciones	ARDL	No hay evidencia de CKA
Yang, Sun, Wang y Li (2015)	67 países (1971-2010)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita	Método de regresión simbólica	Existe evidencia de la CKA en algunos países, pero en general el modelo de tipo N invertida es más significativo en general
Yin, Zheng y Chen (2015)	China (1999-2011)	Emisiones de CO ₂	PIB per cápita, consumo de energía y progreso técnico, estructura industrial y comercio	Panel	Hay evidencia de CKA pero no se calcula punto de inflexión

Notas: (*) En el caso de las emisiones y concentraciones de gases están medidos a nivel per cápita; SPM = partículas suspendidas; OWP = contaminantes orgánicos del agua; VOC = componentes orgánicos volátiles; O₃ = ozono; BOD = demanda bioquímica de oxígeno; MCO = Mínimos Cuadrados Ordinarios; MCE = Modelos de Corrección de Error; ARDL = Modelos autorregresivos de rezagos distribuidos; nd = Indica que no hay información. Los valores de los puntos de inflexión están estimados en dólares constantes a precios de 2005.
Fuente: Elaboración propia con información de varias fuentes.

Los resultados sintetizados en el Cuadro 3.1 señalan que la mayoría de las investigaciones han sido para analizar los impactos del ingreso sobre las emisiones y/o concentraciones de los principales GEI, destacando el CO₂, seguido de el SO₂, el NOx y el NO₂. También se analizan las tasas de deforestación, la contaminación general de aire, suelos y el agua por desechos, tanto industriales como orgánicos, entre otros, en diversos niveles geográficos (ciudad, país, región, mundial o por grupo de países). La diversidad de técnicas para obtener evidencia de la CKA también es variada, debido a la cantidad de información que se utilizó en cada estudio y donde se decidió que tipo de técnica estadística y/o econométrica era la adecuada para el análisis. Asimismo, se destaca la diversidad de variables que se proponen para explicar el comportamiento de la degradación ambiental donde destacan el PIB per cápita, el consumo de energía per cápita, densidad de población y la apertura comercial. Esta variedad de técnicas de estimación, los tipos de variables tanto endógenas como exógenas y la cantidad de información disponible han sido un tema de discusión sobre la validación de la CKA (Harbaugh *et al.*, 2000).

Se muestra que desde la década de los noventa el interés por la CKA en la investigación económica y ambiental ha tenido mucha relevancia donde relacionan diferentes contaminantes e impactos ambientales²⁸. Las primeras investigaciones relevantes de la CKA fueron publicadas a principios de los años noventa, donde se destacan los artículos de Grossman y Krueger (1991) y Shafik y Bandyopadhyay (1992), cuyas ideas fueron expuestas en el World Development Report 1992 (IBRD, 1992) que ha sido una referencia importante en las investigaciones de los siguientes años.

Con referencia a los puntos de inflexión calculados²⁹, existe gran diversidad de resultados con magnitudes distintas que dependen, principalmente, de la zona o grupo de países, del ingreso per cápita y de las emisiones y/o concentraciones de determinado tipo de gas invernadero y de la composición productiva de sus economías. Sólo en las investigaciones sobre emisiones de CO₂ en España (Roca y

²⁸ El estudio de Ruttan (1971) fue de las primeras investigaciones donde se analizó la relación entre la demanda de la calidad ambiental y la elasticidad ingreso.

²⁹ Los valores originales reportados en los estudios han sido transformados a dólares constantes del 2005 para fines comparativos.

Alcántara, 2001), América Latina y el Caribe (Zilio y Caraballo, 2014) y Vietnam (Al-Mulali *et al.*, 2015) y en partículas suspendidas en 40 países desarrollados y en desarrollo (Al Sayed y Sek, 2013), los resultados concluyen que no hay evidencia de un comportamiento de tipo U invertida por lo que la hipótesis de la CKA es rechazada.

Destacan también los estudios Stern y Common (2001) y Suri y Chapman (1998) donde el punto de inflexión es cercano o supera los cien mil dólares de PIB per cápita, los cuales, prácticamente, son muy difíciles de alcanzar para muchos países y cuyos resultados se debe de tomar con precaución.

Asimismo, es relevante destacar y analizar las estimaciones realizadas para las emisiones de CO_2 (Unruh y Moomaw, 1998; Galeotti *et al.*, 2006; Fodha y Zaghdoud, 2010; Lipford y Yandle, 2010; Xu, 2012; Cho *et al.*, 2014; Farhani *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2015; Yin *et al.*, 2015) donde el rango de punto de inflexión en algunos de esos estudios se encuentra entre los 1,744 y los 44,237 dólares, lo que equivale a un valor promedio de 15,463 dólares aproximadamente. Se destaca el estudio de Al Sayed y Sek (2013), donde el punto de inflexión para los países desarrollados es de 41,368 dólares y para los países en desarrollo es de 6,196 dólares.

3.7 Conclusiones

En este capítulo se analizó que la actividad antropogénica ha generado un incremento en las emisiones de GEI desde las últimas décadas alterando la composición natural de la atmósfera, daños ambientales como el Cambio Climático.

El problema que genera el crecimiento económico sobre el medio ambiente se retomó desde la década de los años setenta y ochenta donde, a nivel internacional, se presentaron sucesos relevantes, principalmente en los casos de las crisis y recesiones económicas que generaron altas tasas de desempleo e inflación y disminuciones en la producción de diversos sectores económicos y modificaciones en la composición geográfica de los centros de elaboración de bienes y servicios.

La relación entre crecimiento y desarrollo económico, tomando en cuenta aspectos como la tecnología, los mercados y las instituciones (a través de una visión neoclásica), se ha convertido en el paradigma dominante que se fundamenta en la liberación de los mercados mediante precios sin distorsiones, asignación eficientemente de los recursos y un sólido crecimiento económico buscando en el

largo plazo beneficios que mejoren la calidad de vida y disminuir las desigualdades referentes a la distribución del ingreso.

A inicios de los años setenta, D. Meadow planteó la existencia de limitantes naturales al crecimiento económico y que, de mantenerse el mismo ritmo de crecimiento se tendrán repercusiones sobre insumos estratégicos, el aumento de la contaminación ambiental y el crecimiento descontrolado de la población que pusieran en riesgo el abastecimiento y falta de sustentabilidad en el futuro, por lo que se planteó el concepto de desarrollo sustentable.

Esta relación entre economía y degradación ambiental pone las bases para diversas teorías donde destaca la hipótesis de la CKA, la cual, en una primera etapa, aumenta el crecimiento económico así como el impacto o daño ambiental y posteriormente, en una segunda etapa, el impacto se equilibrará para entonces disminuir mediante un punto de inflexión. En la literatura, estas etapas de la CKA son conocidas como: el efecto escala, el efecto composición y el efecto tecnológico (Grossman y Krueger, 1991; Aslanidis, 2009).

Los principales factores que influyen en el cambio de trayectoria son el ingreso, el mejoramiento en los energéticos y cambios en el desarrollo de conocimientos, tecnología, entre otros.

La teoría económica ha estudiado la relación entre crecimiento económico y medio ambiente construyendo un subsistema ambiental donde existe dependencia bidireccional y fundamental entre ambos elementos y además interactúan elementos como la energía, los recursos naturales, la producción, los residuos y los agentes económicos.

La CKA, de acuerdo con la evidencia internacional, puede servir para plantear soluciones ambientales y económicas en países pobres con la ayuda de organizaciones internacionales que destinen financiamiento para generar políticas e instrumentos y protejan la enorme cantidad de recursos naturales mediante regulaciones precisas, el desarrollo de la ciencia y tecnología y transformar los patrones de producción en algunos de los sectores que generen mayores impactos ambientales.

Por otro lado, existen argumentos en contra, debido a que los resultados sobre algunos indicadores ambientales no son decisivos y pueden presentar dinámicas complejas que dependen del tipo y origen del contaminante, así como por factores geográficos, demográficos, espaciales, económicos y tecnológicos, principalmente. Aunque ha tenido muy buenos resultados en estudios de emisiones de CO, CO₂, SO₂ y partículas suspendidas.

Las especificaciones de la CKA planteadas por la teoría económica han tenido diversas derivaciones fundamentadas en modelos generales, por ejemplo, el Modelo de Crecimiento de Solow, donde se deriva el Modelo Verde de Solow que tiene como aporte que el progreso técnico está incorporado de forma relevante y es fundamental para que se cumpla una trayectoria hacia la convergencia que logre llevar a la sustentabilidad.

En consecuencia, y de acuerdo a la teoría, la CKA podría surgir debido a que los costos marginales de controlar la degradación ambiental se incrementen más rápidamente con el crecimiento del ingreso inicial de la disponibilidad a pagar por la reducción de los daños ambientales.

La evidencia empírica internacional señala que se han realizado una gran cantidad de estudios sobre diversos aspectos que impactan el medio ambiente como son las emisiones y/o concentraciones de GEI, contaminación de recursos como agua, aire y suelos, tasas de deforestación, entre otras. Estos estudios se han realizado con ayuda de diversos métodos estadísticos y econométricos que dependen del lugar y variables que se estén analizando. Por lo tanto, las investigaciones realizadas acerca de las emisiones de CO₂ plantean un punto de inflexión promedio de 15,463 dólares, que puede variar dependiendo de las condiciones económicas, sociales y ambientales de cada país.

El análisis de los estudios ofrece un panorama para poder determinar la mejor especificación de la CKA para los países de América Latina y el Caribe, tomando en cuenta la metodología estadística y econométrica adecuada, así como las variables relevantes que puedan ofrecer resultados confiables para determinar los puntos de inflexión que son importantes para hacer planteamientos de políticas públicas.

CAPITULO IV. LA CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: UN MODELO DE COINTEGRACIÓN CON PANEL.

4.1 Introducción

De acuerdo con la evidencia empírica internacional, el impacto del cambio climático, ocasionado por el aumento de los gases efecto invernadero (GEI) causados por la actividad humana, es uno de los mayores retos que está enfrentando la población mundial y que compromete la disponibilidad de los recursos naturales y las actividades económicas en las próximas décadas. La información estadística señala que hay una alta correlación entre las emisiones mundiales de CO₂ y la temperatura promedio del planeta cercana al 0.85 dando evidencia al fenómeno del calentamiento global³⁰.

Como resultado de este problema global la temperatura terrestre seguirá incrementándose, lo que podría provocar escenarios con incrementos promedio de 4 a 5 grados centígrados (°C), lo que generaría dificultades para la vida en el planeta (IPCC, 2007 y 2013).

En las últimas cuatro décadas, América Latina y el Caribe ha sido beneficiado en el ámbito económico. Asimismo, ha sido una de las regiones más afectadas por el calentamiento global. Existe la posibilidad que al no tomar acciones y políticas acordes con sus características, se pueden generar altos costos económicos, perdidas de recursos naturales, así como de vidas humanas.

Debido al origen antropogénico de este problema en la región, es relevante llevar a cabo un análisis del comportamiento de las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) a nivel per cápita, sustentado en la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Para determinar las principales variables en su comportamiento en el largo plazo, se calculan los puntos de inflexión donde las emisiones tenderán a disminuir gradualmente como resultado de los procesos de desacoplamiento y descarbonización de las economías.

La estructura de este capítulo es la siguiente: en primer lugar está la introducción; posteriormente se especificará el modelo de tipo CKA para las emisiones de CO₂, mediante la metodología de cointegración de panel para 23 países de América Latina

³⁰ El valor de la correlación fue obtenido con información del WRI (World Resources Institute), CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) y GISS (Goddard Institute for Space Studies).

y el Caribe, durante el período de 1980 a 2010; enseguida calcularán los puntos de inflexión; finalmente se analizarán los resultados y se plantearán algunas sugerencias de políticas públicas que contribuyan en la reducción de emisiones de CO₂ en la región.

4.2 Antecedentes, información estadística y especificación del modelo teórico

De acuerdo con los estudios sobre la CKA, se puede estimar para las emisiones de diversos GEI que estarán básicamente en función del nivel de ingreso per cápita y de su término cuadrático. Asimismo, la evidencia internacional señala que a la especificación para un modelo sobre la CKA se pueden agregar diversas variables exógenas importantes en la determinación de las trayectorias de las emisiones de GEI.

Entre las variables exógenas destacan las de tipo energético, específicamente los combustibles fósiles que han contribuido en las emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera (González, 2009; Hodgson, 2010).

En las últimas décadas, el uso de energéticos renovables ha tenido un importante crecimiento, esencialmente en el sector de generación de electricidad, que está relacionado con la eficiencia técnica y la actividad económica y que repercute en la calidad de vida de las sociedades en general. En consecuencia, la utilización de energía sustentable se puede considerar una opción de sustitución de los combustibles fósiles, así como una oportunidad de reducir las emisiones de GEI (Sadorsky, 2009).

Las variables macroeconómicas pueden tener una influencia directa sobre la determinación de las emisiones de GEI tanto per cápita como total. Entre las variables que destacan están los stocks de capital en los países altamente industrializados y en vías de desarrollo, la cantidad de fuerza de trabajo, el comportamiento de los precios de los energéticos, tanto a nivel nacional como internacional, así también están las variables de comercio exterior que determinan de manera relevante el comportamiento de las emisiones y concentraciones de GEI entre países y regiones (Yin *et al.*, 2015; Xu, 2012; Constantini y Martini, 2010; Apergis y Payne, 2009a y 2009b; Lee y Lee, 2009; Lee, 2005; Stern y Common, 2001; Suri y Chapman, 1998).

La relación entre el comercio internacional y su contribución en el fenómeno del Cambio Climático, ha sido uno de los temas que frecuentemente están siendo

analizados. Por lo tanto, la liberalización comercial, al igual que la CKA (Grossman y Krueger, 1991; Aslanidis, 2009), tiene 3 efectos independientes (OMC y PNUMA, 2009):

- (1) *Efecto escala*: Se refiere al impacto en los GEI mediante el incremento en la actividad económica y en consecuencia del mayor uso de energéticos;
- (2) *Efecto composición*: Puede tener un efecto tanto positivo como negativo, debido a que la liberación comercial desvía la producción de un determinado país hacia los productos en que tiene una ventaja comparativa obteniendo eficiencia económica siempre y cuando los sectores que tengan esa ventaja consuman menos energía en su desempeño productivo;
- (3) *Efecto en la técnica*: Está basado en buscar formas más eficientes de producir y transportar bienes y servicios que contribuyan a una mayor eficiencia energética que genere menores emisiones de GEI. Esto significa, por una parte, que la liberación del comercio aumentará la disponibilidad y reducirá los costos de los productos, servicios y tecnologías que no dañen el medio ambiente; por otro lado, el aumento de los ingresos generados del comercio puede motivar a la sociedad a demandar una mayor calidad ambiental que busque reducir las emisiones de GEI.

Los impactos del comercio en el cambio climático no pueden ser determinados con anticipación, ya que dependen de la magnitud e intensidad de cada uno de los efectos y de las estructuras económicas de los países. En consecuencia, el efecto de la apertura comercial sobre las emisiones es indeterminado, es decir, si el efecto es positivo se estaría cumpliendo con la *Hipótesis de Refugio de Contaminantes*; pero si el efecto es negativo, el comercio internacional tiene efectos que benefician la calidad ambiental.

De acuerdo con las características económicas de América Latina y el Caribe, el marco teórico y la evidencia empírica internacional, se estimará 4 modelos de tipo panel con cointegración de la CKA para las emisiones per cápita de CO₂. Los modelos están divididos en uno general para los países de América Latina y el Caribe, uno compuesto por México y los países centroamericanos, otro que incluye únicamente a los países del Caribe y finalmente un modelo conformado exclusivamente por los países sudamericanos.

La especificación general de los modelos y el sentido económico de sus coeficientes se representa en la siguiente ecuación:

$$CO_2pc_{it} = \beta_0 + \beta_1(Ypc_{it}) - \beta_2(Ypc_{it}^2) + \beta_3(Epc_{it}) - \beta_4(ERpc_{it}) \pm \beta_5(AC_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

Donde CO_2pc_{it} son las emisiones de CO_2 per cápita (toneladas por habitante), Ypc_{it} es el ingreso per cápita (dólares a precios constantes de 2005 por habitante), Ypc_{it}^2 representa al ingreso per cápita al cuadrado, Epc_{it} corresponde al consumo total de energía per cápita (sin energías renovables) (barriles equivalentes de petróleo por persona), $ERpc_{it}$ es el consumo total de energía renovable per cápita (millones de kilowatts-hora por persona) y AC_{it} simboliza el índice de apertura comercial de cada país (porcentaje).

Para la estimación de los modelo se usará información estadística anual de 1980 a 2010 de 23 países de América Latina y el Caribe (Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela) obtenida principalmente de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y que conforman una muestra total de 699 observaciones.

4.3 Metodología econométrica

En esta sección se presentará brevemente la metodología para la construcción de los modelos econométricos y los resultados obtenidos de las series estadísticas que se van a utilizar para encontrar si existe o no evidencia de la CKA.

4.3.1 Pruebas de heterogeneidad dinámica

De acuerdo con la metodología propuesta por Holz-Eakin *et al.* (1985) y Holz-Eakin (1986), es importante realizar algunas pruebas para comprobar la existencia de heterogeneidad en los datos panel³¹.

En este caso, la heterogeneidad dinámica (por ejemplo, la variación del intercepto entre los países y el tiempo) se puede analizar, en primer lugar, mediante una

³¹ Ver Anexo para una revisión general de los modelos básicos de datos panel.

ecuación tipo ADF(n) para cada relación en el panel, donde la hipótesis nula señala que los parámetros de la regresión son iguales en las ecuaciones utilizando como indicador una prueba F. En segundo lugar, se estima una prueba tipo Chow con una distribución F y usando un modelo autorregresivo de orden n para cada una de las relaciones y probar la igualdad entre parámetros. En tercer lugar, se calcula una prueba White para grupos que tienen heteroscedasticidad para probar la hipótesis nula de homogeneidad en la varianza de los errores a través de los países.

4.3.2 Pruebas de raíces unitarias para datos panel

Una de las principales razones para utilizar las pruebas de raíces unitarias a las series de tipo panel es debido a que se incrementa el poder estadístico a diferencia de sus contrapartes univariadas, principalmente al utilizar la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF) (Dickey y Fuller, 1979), que tiene un bajo poder para rechazar la hipótesis de no estacionariedad en las series que tienen un número de valores reducido. Asimismo, al aplicar pruebas de raíces unitarias a los datos de panel cuando son heterogéneos y no estacionarios se puede evitar problemas de regresión espuria (Constantini y Martini, 2010; Baltagi, 2013).

De forma general, si se define una especificación dinámica para datos panel (modelo básico autorregresivo) como en la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \delta_i + \phi_i y_{i,t-1} + v_{it} \quad (4.2)$$

Donde $\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \dots = \phi_i = \phi$

Se podrían obtener los 2 efectos siguientes:

(I) Efectos comunes:

Hipótesis nula: $H_N: \phi = 1$

Hipótesis alternativa: $H_A: \phi < 1$

(II) Efecto diferenciado:

$H_N: \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \dots = \phi_i = 1$

$H_A: \phi_1 < 1, \phi_2 < 1, \phi_3 < 1, \dots, \phi_i < 1 \rightarrow$ en consecuencia cumple con las condiciones de convergencia

Entonces:

$$y_{it} - y_{i,t-1} = \delta_i + \phi_i y_{i,t-1} + \dots + y_{i,t-i} + u_{it}$$

$$\Delta y_{it} = \delta_i + \varphi_i y_{i,t-1} + u_{it}$$

$$\varphi = (\phi_i - 1)$$

Por lo tanto:

- Prueba con todos los elementos del panel: $H_N: \varphi = 0$ y $H_A: \varphi < 0$
- Prueba individual (por parámetros): $H_N: \varphi_i = 0$ y $H_A: \varphi_i < 0$

Si existen parámetros φ_i de los procesos autorregresivos y se usan para analizar si cada una de las i economías cumple con las condiciones de convergencia, entonces se estaría hablando de un proceso estacionario. Si $\varphi_i < 1$, se cumple las y_{it} diferencias de las economías y son estacionarias, mientras que si $\varphi_i > 1$ tienen raíz unitaria.

Las pruebas raíces unitarias de datos panel se pueden clasificar en 2 generaciones (Baltagi, 2013):

- 1) Las que asumen independencia en sección cruzada.
- 2) Las que permiten dependencia en sección cruzada.

Para el caso de esta investigación se analizarán y se calcularán 3 pruebas de raíces unitarias de primera generación.

Levine y Lin (1993) y Levine, Lin y Chu (LLC) (2002), propusieron una prueba basada en el modelo ADF, que restringe los parámetros γ_i los cuales son idénticos a todas las unidades transversales, pero permitiendo que el número de rezagos para los términos en primeras diferencias varíen también de acuerdo a las unidades transversales como se muestra en la ecuación (4.3) (Lee, 2005; Narayan y Smyth, 2008; Baltagi, 2013):

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \gamma_i y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^k \alpha_j \Delta y_{i,t-j} + e_{it} \tag{4.3}$$

Donde $t = 1, \dots, T$ periodos de tiempo, e $i = 1, \dots, N$ miembros del panel y donde la prueba LLC tiene como hipótesis nula que $\gamma_i = \gamma = 0$ para todo i , contra la hipótesis alternativa donde $\gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma < 0$ para todo i , con la prueba basada en el estadístico $t_\gamma = \frac{\hat{\gamma}}{s.e.(\hat{\gamma})}$. Existe el inconveniente de que γ está restringido de manera idéntica en las mismas unidades bajo ambas hipótesis.

En el caso de la prueba realizada por Im, Pesaran y Shin (IPS) (1997), se relaja el supuesto de coeficientes autorregresivos de primer orden idénticos en comparación de la prueba LLC y permite a γ variar en todas las unidades bajo la hipótesis alternativa.

En esta prueba la hipótesis nula es $\gamma_i = 0$ para todo i , contra la hipótesis alternativa de $\gamma_i < 0$ para todo i . Asimismo, es importante mencionar que la prueba se basa en un enfoque de medias por grupos, el cual usa el promedio del estadístico t_γ para poder calcular el siguiente estadístico \bar{Z} :

$$\bar{Z} = \frac{\sqrt{N}(\bar{t} - E(\bar{t}))}{\sqrt{var(\bar{t})}} \quad (4.4)$$

Donde $\bar{t} = (1/N) \sum_{i=1}^N t_{\gamma_i}$, los términos $E(\bar{t})$ y $var(\bar{t})$ son, respectivamente, la media y la varianza de cada estadístico t_{γ_i} que son generados y tabulados de acuerdo con Im, Pesaran y Shin (1997). El estadístico \bar{Z} converge hacia una distribución normal estándar.

Asimismo en la prueba realizada por Hadri (H-LM) (2000) se argumentan que la hipótesis nula debería invertirse para convertirse en una hipótesis estacionaria con el objetivo de contar con una prueba más robusta. La prueba se basa en el multiplicador de Lagrange (LM) que se define como:

$$\widehat{LM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\frac{1}{T^2} \sum_{t=1}^T S_{it}^2}{\hat{\sigma}_\varepsilon^2} \right), \quad S_{it}^2 = \sum_{j=1}^t \hat{\varepsilon}_{ij} \quad (4.5)$$

Donde $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ es la estimación consistente de la varianza de largo plazo de los términos de error que están basados en Newey y West (1987).

4.3.3 Pruebas de cointegración para panel heterogéneo

El énfasis de la literatura con respecto a las raíces unitarias y la cointegración con datos de panel ha buscado atender la combinación de información entre series de tiempo y sección cruzada con el objetivo de tener una evidencia más fuerte y precisa al tomar en cuenta la dimensión de corte transversal. Especialmente en ambientes donde las series de tiempo no cuentan con mucha información, pero que existe disponibilidad y similitud entre los individuos a través de la sección cruzada como pueden ser países, regiones, empresas, industrias, etc. (Banerjee, 1999).

En las series convencionales de series de tiempo, el concepto de cointegración se refiere a que un conjunto de variables con una relación económica de largo plazo donde la causalidad está dada y existe un punto de equilibrio; además de la existencia de un vector de cointegración, que no puede ser el único. Asimismo, hay una combinación lineal entre n variables (y) que es estacionaria y que se representa como: $C(y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt}) = Z_t \sim I(0)$ que indica que las variables están cointegradas o hay una relación económica de largo plazo (Johnston y Dinardo, 2001).

Las técnicas de cointegración de datos panel están diseñadas para analizar información seleccionada y poder encontrar relaciones de largo plazo comunes de todo el conjunto de datos al mismo tiempo, asociados también a la dinámica de corto plazo y que los efectos fijos sean heterogéneos entre los diferentes miembros del panel (Pedroni, 1999).

Considerando la siguiente ecuación de datos de tipo panel:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \delta_{it}t + \beta_{it}X_{it} + e_{it} \quad (4.6)$$

Donde y_{it} y X_{it} son variables observables con dimensiones $(N \times T) \times 1$ y $(N \times T) \times m$, respectivamente, puede haber presencia de heterogeneidad tanto en la dinámica como en la varianza de los errores en los datos panel, por lo tanto, Pedroni (1999 y 2004) propone 2 conjuntos de pruebas para cointegración, las cuales plantean la hipótesis nula de no cointegración, $\rho_i = 1$ tomando en cuenta el siguiente proceso autorregresivo de los residuales:

$$e_{it} = \rho_i e_{it-1} + u_{it} \quad (4.7)$$

Las primeras pruebas están basadas sobre el enfoque *within dimension* (dentro de la dimensión) (estadísticos de panel cointegrado) que está compuesto por 4 estadísticos: panel v , panel ρ , panel PP (Phillips y Perron, 1988) y panel ADF donde esencialmente, estos estadísticos juntan los coeficientes autorregresivos a través de las diferentes unidades o individuos para las pruebas de raíces unitarias sobre los residuales estimados y toman en cuenta la heterogeneidad y los factores de tendencia común entre las unidades (Arpegis y Payne, 2009a y 2009b).

Los estadísticos se representan de la siguiente manera (Pedroni, 1999; Lee, 2005):

Panel v - estadístico:

$$Z_v = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{it-1}^2 \right)^{-1}$$

Panel ρ - estadístico:

$$Z_\rho = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{it-1}^2 \right)^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} (\hat{e}_{it-1} \Delta \hat{e}_{it} - \hat{\lambda}_i)$$

Panel PP - estadístico:

$$Z_t = \left(\hat{\sigma}^2 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{it-1}^2 \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} (\hat{e}_{it-1} \Delta \hat{e}_{it} - \hat{\lambda}_i)$$

Panel ADF - estadístico:

$$Z_t^* = \left(\hat{s}^{*2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{it-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{L}_{11i}^{-2} \hat{e}_{it-1}^* \Delta \hat{e}_{it}^*$$

Las otras pruebas se basan en el enfoque *between dimension* (entre dimensión) (estadísticos de cointegración de panel de grupos promedio) que se compone de 3 estadísticos: grupo ρ , grupo PP y grupo ADF y que están establecidos sobre

promedios de coeficientes autorregresivos individuales asociados con las pruebas de raíces unitarias de los residuales de cada una de las unidades (Arpegis y Payne, 2009a y 2009b). Los estadísticos son (Pedroni, 1999 y Lee, 2005):

Grupo ρ - estadístico:

$$\tilde{Z}_\rho = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{e}_{it-1}^2 \right)^{-1} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{it-1} \Delta \hat{e}_{it} - \hat{\lambda}_i)$$

Grupo PP - estadístico:

$$\tilde{Z}_t = \sum_{i=1}^N \left(\hat{\sigma}^2 \sum_{t=1}^T \hat{e}_{it-1}^2 \right)^{-1/2} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{it-1} \Delta \hat{e}_{it} - \hat{\lambda}_i)$$

Grupo ADF - estadístico:

$$\tilde{Z}_t^* = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T \hat{s}_i^2 \hat{e}_{it-1}^{*2} \right)^{-1/2} \sum_{t=1}^T (\hat{e}_{it-1}^* \Delta \hat{e}_{it}^*)$$

Donde, \hat{e}_{it} son los residuales estimados de la ecuación (4.6) y \hat{L}_{11i}^2 es la matriz de covarianza estimada de largo plazo para $\Delta \hat{e}_{it}$. De manera similar, $\hat{\sigma}_i^2$ y \hat{s}_i^2 (\hat{s}^{*2}) son las varianzas de largo plazo y actuales, respectivamente, de las i unidades o individuos³². Los estadísticos están distribuidos asintóticamente de forma normal. El estadístico panel ν es una prueba unilateral donde valores altos positivos rechazan la hipótesis nula de no cointegración. El resto de los estadísticos divergen hacia valores negativos por lo que mientras más negativos sean se rechazará la hipótesis nula (Lee, 2005).

La prueba de cointegración de Kao (1999) considera nuevamente las ecuaciones (4.6) y (4.7) donde y_{it} y X_{it} son variables no estacionarias de orden de integración I(1) y propone pruebas tipo Dickey-Fuller (DF) y ADF donde la hipótesis nula es la existencia de no cointegración ($H_0: \rho = 1$). La prueba tipo DF están calculadas mediante efectos fijos de los residuales. La estimación del parámetro ρ y el estadístico t se determinan como (Baltagi, 2013):

³² Ver Pedroni (1999) para más detalle acerca de todos los términos de los 7 estadísticos.

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it} \hat{e}_{it-1}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it}^2} \quad (4.9)$$

$$t_{\rho} = \frac{(\hat{\rho}-1) \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T \hat{e}_{it}^2}}{s_e} \quad (4.10)$$

Donde, $s_e = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sum_{t=2}^T (\hat{e}_{it} - \hat{\rho} \hat{e}_{it-1})^2$. En consecuencia, Kao (1999) propone que la prueba tipo ADF se puede estimar con la siguiente regresión:

$$\hat{e}_{it} = \rho \hat{e}_{it-1} + \sum_{j=1}^p \vartheta_j \Delta \hat{e}_{it-j} + v_{itp} \quad (4.11)$$

La prueba ADF se puede representar como (Baltagi, 2013):

$$ADF = \frac{t_{ADF} + \frac{\sqrt{6N} \hat{\sigma}_v}{2 \hat{\sigma}_{0v}}}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_{0v}^2}{2 \hat{\sigma}_v^2} + \frac{3 \hat{\sigma}_v^2}{10 \hat{\sigma}_{0v}^2}}} \quad (4.12)$$

Donde, t_{ADF} es el estadístico t de ρ en la ecuación (4.11), además que $\hat{\sigma}_v^2 = \hat{\Sigma}_{yy} - \hat{\Sigma}_{yx} \hat{\Sigma}_{xx}^{-1}$ y $\hat{\sigma}_{0v}^2 = \hat{\Omega}_{yy} - \hat{\Omega}_{yx} \hat{\Omega}_{xx}^{-1}$. La prueba ADF converge a una distribución normal $N(0,1)$.

4.3.4 Relaciones de largo plazo mediante Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS)

El método de Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) (Mínimos Cuadrados Ordinarios Modificados Completamente) es un enfoque semi-paramétrico desarrollado por Phillips y Hansen (1990), Pedroni (2000) y Phillips y Moon (1999) para la estimación de una sola relación de cointegración mediante la combinación variables no estacionarias con orden de integración I(1) y realiza correcciones apropiadas para eliminar los problemas de inferencia con el método estático de Engle y Granger (1987), por lo que las pruebas t de los coeficientes estimados de largo plazo son validos debido a que se realiza una ponderación en dichos coeficientes.

El método usa estimadores Kernel de los parámetros de perturbación que afectan la distribución asintótica de los estimadores obtenidos por MCO para dar cuenta de los efectos de correlación de las series y las pruebas de endogeneidad de los regresores resultado de la existencia de relaciones de cointegración (Shahbaz, 2009).

Tomando en cuenta una estimación de MCO típica de datos panel (ecuación (4.6)), se busca encontrar un estimador β que represente el vector de cointegración de la relación de largo plazo entre el conjunto de variables y_{it} y X_{it} , dicho estimador mediante FMOLS se representa de la siguiente manera (Pedroni, 2000; Kao y Chiang, 2000):

$$\hat{\beta}_{FM} = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (X_{it} - \bar{X}_i)(X_{it} - \bar{X}_i)' \right]^{-1} \left[\sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T (X_{it} - \bar{X}_i) \hat{y}_{it}^+ - T \Delta_{\varepsilon v}^+ \right) \right] \quad (4.13)$$

Donde $\Delta_{\varepsilon v}^+$ es el término de corrección de correlación serial y \hat{y}_{it}^+ es el término de corrección de endogeneidad.

4.3.5 Pruebas de causalidad de Granger

En la investigación económica, es importante determinar si los cambios que se presentan en una variable es resultado de los cambios de otra variable. Por lo tanto, Granger (1969) y Sims (1972) realizaron pruebas para encontrar la causalidad entre las variables.

La prueba de causalidad señala que si la variable X_{it} causa a y_{it} , por lo que los cambios en X_{it} anteceden a los cambios en la variable y_{it} , diciendo en una regresión de y_{it} en función de sus valores pasados además de los valores anteriores de X_{it} como variables independientes deberá contribuir de manera significativa el poder de explicación de la regresión, en consecuencia, se dice que " X_{it} causa a y_{it} ", teniendo en cuenta que puede existir relaciones unidireccionales o bidireccionales (Pindyck y Rubinfeld, 2001).

La prueba de causalidad de Granger (Granger, 1969; Engle y Granger, 1987) emplea un conjunto de variables que sean estacionarias, debido a que si se utilizarán series no estacionarias, la prueba de causalidad podría conducir a resultados de causalidad espurios (Granger y Newbold, 1974).

Por lo tanto, se usa el método de Engle y Granger (1987) de dos etapas: en la primera etapa, se lleva a cabo la estimación del modelo de largo plazo de la ecuación, que en este caso es la CKA; en la segunda etapa se obtiene la serie de los residuales que busca incorporar información de las propiedades de cointegración de las series que

especifican la relación causal entre dos o más variables conteniendo una relación de equilibrio, incluyendo el vector de cointegración (representado como el mecanismo de corrección de error: ε_{it-1}), dando evidencia de la existencia de una relación de largo plazo y que persistirá más allá del ajuste de corto plazo (Johnston y Dinardo, 2001).

$$\Delta y_{it} = \alpha + \sum_{j=1}^K \gamma_{it} \Delta X_{it-n} + \sum_{j=1}^K \delta_{it} \Delta y_{it-n} + \varepsilon_{it-1} + v_{it} \quad (4.14)$$

La hipótesis nula de la prueba es la no existencia de causalidad, entonces, para determinar que si se acepta o se rechaza la hipótesis nula los parámetros de la(s) variable(s) que causan a y_{it} deben ser estadísticamente diferentes de cero como grupo, utilizando una prueba F ó χ^2 donde la probabilidad debe ser menor a un nivel de significancia del 5 o 10% para rechazar la hipótesis nula de no causalidad.

4.4 Evidencia empírica de la Curva de Kuznets Ambiental para América Latina y el Caribe: 1980-2010. Un modelo de cointegración con panel

De acuerdo con la metodología planteada, para poder estimar el modelo de panel de la CKA para toda la región y por subregiones, en primer lugar se realizaron las pruebas ADF, AR y White para probar la existencia de heterogeneidad dinámica. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.1
Pruebas de heterogeneidad dinámica

Especificación	Prueba ADF(2)	Prueba AR(2)	Prueba White
CO ₂ pc – Ypc – Ypc ² – Epc – Erpc – AP	F: 18.69 (0.00)*	F: 59.50 (0.00)*	χ^2 : 102.57 (0.00)*
Notas: (*) Indica 5% de nivel de significancia. Los valores entre paréntesis indican la probabilidad de la prueba. ADF reporta igualdad en los parámetros a través de los paneles, AR muestra una relación autorregresiva de tercer orden y White indica igualdad en la varianza a través de los paneles.			

Los resultados para la prueba ADF(2) indican que se rechaza la hipótesis nula de la existencia de igualdad entre los parámetros; asimismo, la prueba AR(2), también rechaza la hipótesis nula de la existencia de homogeneidad en los parámetros de sección cruzada. Por último, en la prueba White, nuevamente se rechaza la hipótesis nula, por lo que existe heterogeneidad en la varianza de los errores a través de los países.

Posteriormente se realizaron las pruebas de raíces unitarias de panel de Levine *et al.* (LLC) (2002), Im *et al.* (IPS) (1997) y Hadri (H-LM) (2000) con y sin efectos temporales

de las series estadísticas para modelar la CKA. En el Cuadro 4.2 se presenta un resumen de las pruebas.

Las pruebas LLC e IPS indican que en cada una de las series en niveles con y sin efectos temporales se acepta la hipótesis nula de existencia de raíces unitarias en las series de panel tanto a nivel común en el grupo como individual. Cuando se aplica la primera diferencia a las series sin efectos temporales los resultados indican que son estacionarias, por lo que su orden de integración es $I(1)$.

Es importante mencionar que en la prueba LLC al aplicar los efectos temporales en primeras diferencias se acepta la hipótesis de existencia de raíz unitaria común en las series debido a que la tendencia determinística la convierte en una serie no estacionaria o en una caminata aleatoria.

Para los casos de la prueba de H-LM, en cada uno de los casos de las series en niveles se rechaza la hipótesis nula de que existe estacionariedad en todas las series de tipo panel, a diferencia de las mismas series en primeras diferencias, donde se concluye que son estacionarias tanto en los casos con y sin efectos temporales.

Se destaca que si existen raíces unitarias en el PIB o ingreso per cápita, es señal de la presencia de efectos permanentes y que son consecuencia de factores como los shocks tecnológicos, fluctuaciones económicas o impactos en las demandas agregadas que tienen efectos permanentes sobre los niveles de producción (Narayan, 2004; Lee y Lee, 2009).

Cuadro 4.2
Raíces unitarias para datos panel

Variable	Levine, Lin y Chu (2002) (LLC)		Im, Pesaran y Shin (1997) (IPS)		Hadri (2000) (H-LM)	
	Sin efectos temporales	Con efectos fijos temporales	Sin efectos temporales	Con efectos fijos temporales	Sin efectos temporales	Con efectos fijos temporales
CO_2pc_{it}	-1.383 (0.083)	3.220 (0.999)	1.433 (0.924)	0.773 (0.780)	68.643 (0.000)*	26.734 (0.000)*
ΔCO_2pc_{it}	-3.648 (0.000)*	-1.268 (0.102)	-9.898 (0.000)*	-7.439 (0.000)*	-2.081 (0.981)	-0.378 (0.647)
Ypc_{it}	2.163 (0.985)	-2.029 (0.021)*	4.847 (1.000)	-0.376 (0.354)	41.466 (0.000)*	39.008 (0.000)*
ΔYpc_{it}	-4.303 (0.000)*	-0.904 (0.183)	-6.858 (0.000)*	-4.520 (0.000)*	0.668 (0.252)	-1.934 (0.974)
Ypc^2_{it}	2.464 (0.993)	-1.941 (0.026)*	5.059 (1.000)	-0.206 (0.418)	47.613 (0.000)*	36.666 (0.000)*
ΔYpc^2_{it}	-4.228 (0.000)*	-0.803 (0.211)	-6.706 (0.000)*	-4.395 (0.000)*	0.521 (0.301)	-1.308 (0.905)
Epc_{it}	0.966 (0.833)	-0.026 (0.489)	3.104 (0.999)	0.967 (0.833)	75.768 (0.000)*	28.644 (0.000)*
ΔEpc_{it}	-2.726 (0.003)*	0.072 (0.529)	-7.078 (0.000)*	-5.1513 (0.000)*	-0.758 (0.776)	1.104 (0.135)
$ERpc_{it}$	4.984 (0.999)	4.507 (0.998)	2.354 (0.932)	2.571 (0.951)	53.171 (0.000)*	40.102 (0.000)*
$\Delta ERpc_{it}$	-3.531 (0.000)*	-0.616 (0.269)	-9.434 (0.000)*	-7.383 (0.000)*	-0.105 (0.542)	-2.477 (0.993)
AC_{it}	-1.101 (0.135)	-1.189 (0.133)	2.936 (0.982)	4.568 (0.998)	26.804 (0.000)*	7.725 (0.000)*
ΔAC_{it}	-5.880 (0.000)*	-1.785 (0.037)*	-14.676 (0.000)*	-12.281 (0.000)*	-4.058 (1.000)	-4.718 (1.000)

Notas: Para la prueba LLC: H_0 : existencia de raíz unitaria los paneles vs H_a : el panel es estacionario; Para IPS: H_0 : todos los paneles tienen raíz unitaria vs H_a : algunos paneles son estacionarios; y para la prueba H-LM: H_0 : todos los paneles son estacionarios vs H_a : algunos paneles tienen raíces unitarias. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de nivel de significancia. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de la prueba. Las pruebas de raíces unitarias fueron especificadas con intercepto, tendencia y el número de rezagos fue determinado por el criterio de información de Schwarz. (Δ) indica que las variables están en primeras diferencias. Los valores de las variables están en logaritmos naturales.

Tomando en cuenta el orden de integración de cada una de las series estadísticas, se procede a realizar la prueba de cointegración de Pedroni (1999 y 2004) que está dividida en 2 grupos: *within dimension* (dentro de la dimensión) y *between dimension* (entre la dimensión), así como la prueba de cointegración de Kao (1999), que está basada en un modelo de tipo ADF. Los resultados se presentan en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3
Pruebas de cointegración para panel heterogéneo

Pedroni (1999 y 2004)						
Within dimension (Hipótesis alternativa: Coeficientes AR comunes)						
Prueba	Sin intercepto ni tendencia		Intercepto individual		Intercepto y tendencia individual	
	Estadístico	Estadístico ponderado	Estadístico	Estadístico ponderado	Estadístico	Estadístico ponderado
<i>Panel ν – estadístico</i>	-1.535 (0.937)	-2.061 (0.980)	-0.822 (0.794)	-1.797 (0.964)	-0.551 (0.709)	-2.317 (0.989)
<i>Panel ρ – estadístico</i>	1.300 (0.903)	1.526 (0.936)	-2.230 (0.049)*	-2.905 (0.035)*	-2.289 (0.040)*	-3.219 (0.025)*
<i>Panel PP – estadístico</i>	-1.795 (0.036)*	-1.883 (0.039)*	-3.962 (0.000)*	-3.075 (0.001)*	-6.364 (0.000)*	-4.103 (0.000)*
<i>Panel ADF – estadístico</i>	-1.865 (0.031)*	-1.027 (0.152)	-4.319 (0.000)*	-3.725 (0.000)*	-6.879 (0.000)*	-4.826 (0.000)*
Between dimensión (Hipótesis alternativa: Coeficientes AR individuales)						
Prueba	Sin intercepto ni tendencia		Intercepto individual		Intercepto y tendencia individual	
	Estadístico		Estadístico		Estadístico	
<i>Grupo ρ – estadístico</i>	3.295 (0.999)		-3.171 (0.018)*		-4.256 (0.000)*	
<i>Grupo PP – estadístico</i>	-0.593 (0.276)		-4.793 (0.000)*		-9.034 (0.000)*	
<i>Grupo ADF – estadístico</i>	-0.366 (0.357)		-4.350 (0.000)*		-5.450 (0.000)*	
Kao (1999)						
Intercepto individual						
Prueba	Estadístico					
<i>ADF</i>	-3.649 (0.000)*					

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula de no cointegración al 5% de nivel de significancia. Los valores entre paréntesis representan la probabilidad de la prueba. El número de rezagos fue determinado por el criterio de información de Schwarz.

Los resultados de la prueba de Pedroni (1999 y 2004) de los primeros 4 estadísticos *within dimension*, que están basados en un modelo de efectos fijos donde cada variable explicativa tiene un sólo coeficiente pero con distinta constante, señala que en el estadístico panel ν se acepta la hipótesis nula de no cointegración. En el caso de los 3 siguientes estadísticos de panel (ρ , *PP* y *ADF*), en general coinciden en rechazar la hipótesis nula al incluir tanto los interceptos como las tendencias individuales, por lo tanto existe evidencia de la relación de cointegración entre las variables³³.

Para el caso de los 3 estadísticos del grupo *between dimension*, que se realizan sobre los promedios de las variables de las unidades de corte transversal y producen estimadores entre grupos o promedios para el sistema general, la evidencia encontrada señala que tanto la especificación con intercepto y tendencia rechazan la hipótesis nula por lo que hay una fuerte evidencia de integración entre las series

³³ Para el estadístico ν , el valor estimado debe ser positivo y estadísticamente significativo debido a que es una prueba unilateral y para los estadísticos ρ , *PP* y *ADF*, los valores calculados deben ser negativos y significativos al 5 o 10% de nivel de significancia para rechazar la hipótesis nula (Pedroni, 1999).

estadísticas con trayectorias muy similares en el largo plazo, que indica que hay una relación de estado estacionario en conjunto después de tener un efecto específico por cada país.

En la prueba de Kao (1999), el estadístico estimado tipo ADF con intercepto individual señala que también existe rechazo de la hipótesis nula, por lo tanto, se confirma nuevamente la existencia de cointegración entre las series. Asimismo, se rechaza la existencia de la regresión espuria para modelos de panel heterogéneos como lo señalan Kao (1999), Phillips y Moon (1999) y Baltagi (2013).

Comprobada la existencia de cointegración entre las series de datos de panel, se estimaron 4 modelos mediante el método FMOLS (Pedroni, 2000; Kao y Chiang, 2000) con la finalidad de comprobar la existencia de la CKA en América Latina y el Caribe, utilizando como variable ambiental el CO₂ per cápita que está en función del ingreso per cápita, el ingreso per cápita al cuadrado, el consumo de energía per cápita, la demanda de energía renovable per cápita y la apertura comercial de cada país. Se agruparon de acuerdo con su ubicación geográfica para poder evitar algunos problemas de sesgo debido a la magnitud de algunas economías. Los resultados de los modelos estimados son los siguientes:

Cuadro 4.4
Estimación de los modelos de panel mediante FMOLS

	América Latina y el Caribe	México y Centroamérica	Caribe	Sudamérica
Variable	Coefficientes	Coefficientes	Coefficientes	Coefficientes
Ypc_{it}	1.943 (7.674)*	1.364 (1.665)*	2.142 (3.457)*	1.850 (2.189)*
Ypc^2_{it}	-0.079 (-7.031)*	-0.277 (-5.178)*	-0.088 (-11.509)*	-0.401 (-7.785)*
Epc_{it}	0.687 (5.709)*	0.712 (4.961)*	0.669 (10.553)*	0.691 (9.968)*
$ERpc_{it}$	-0.157 (-1.959)**	-0.154 (-5.549)*	-0.055 (-1.463)**	-0.170 (-11.965)*
AC_{it}	0.032 (2.379)*	0.038 (4.591)*	0.034 (2.843)*	0.039 (3.064)*
R^2 Ajustada	0.968	0.972	0.947	0.986

Notas: (*) y (**) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5 y 10% de grado de significancia, respectivamente. Los valores entre paréntesis indican el t-estadístico de cada coeficiente. Los coeficientes estimados están representados en elasticidades.

Los modelos estimados por FMOLS indican hay una alta correlación entre las variables como lo indican sus coeficientes de determinación ajustados (R^2 ajustada) los cuales están por arriba del 90% de bondad de ajuste. Por lo tanto, el modelo general indica que las emisiones de CO₂ per cápita son explicadas por cada una de

las variables exógenas, debido a que todas son estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 5 y 10%, esto significa que cuando el ingreso per cápita aumenta 1% esto ocasionará que las emisiones aumenten en 1.943% y el término cuadrático del ingreso per cápita señala una disminución de 0.079% en las emisiones per cápita por cada punto porcentual que aumente el ingreso. Asimismo, se presentan efectos directos sobre las emisiones cuando aumenta el consumo de energéticos y un efecto inverso ante el impulso de los energéticos renovables que en el largo plazo se convertirá en un factor importante para la reducción de emisiones.

Los resultados de los 3 modelos por subregión comprueban que las variables exógenas son estadísticamente significativas obteniendo el efecto esperado por la teoría económica y por la evidencia empírica internacional. También es importante destacar que la variable de apertura comercial en el modelo general y por subregiones obtuvo un efecto positivo sobre las emisiones per cápita que señala que en América Latina y el Caribe, el efecto escala, aún tiene un impacto mayor que los efectos técnicos y de composición.

Las estimaciones comprueban la existencia de la hipótesis de la CKA en la región, es decir, se cumple que en una primera etapa el nivel de emisiones per cápita aumentará conforme se incrementen las magnitudes de las variables de ingreso, consumo de energéticos, principalmente fósiles, y apertura comercial. Posteriormente se estabilizará y, finalmente, decrecerá como lo indica el término cuadrático del ingreso per cápita y el aumento en el uso de los energéticos renovables.

El cumplimiento de la hipótesis de la CKA para América Latina y el Caribe presentada en esta investigación es contrario al resultado general presentado por Zilio y Carabello (2014). Al contrastar los resultados de estas investigaciones, estos deben de tomarse con precaución, debido a la especificación, la metodología y el período de análisis son diferentes. A pesar de los resultados contrarios, ambas investigaciones tienen variables exógenas en común, como es el PIB per cápita y la apertura comercial, donde en ésta última se destaca que los resultados coinciden en términos generales comprobando la Hipótesis de Refugio de Contaminantes al obtener efectos positivos en los modelos estimados. Esto presenta una evidencia importante en América Latina y el Caribe donde los países siguen siendo una opción para industrias contaminantes de países desarrollados debido a que las legislaciones ambientales en los países de la región aún no son demasiado exigentes y justas. Este aspecto es relevante, junto con las medidas de adaptación y mitigación para poder disminuir las emisiones de GEI y

contribuir a la reducción de los impactos del Cambio Climático en la región y a nivel internacional.

Debido a la existencia de la CKA en América Latina y el Caribe, es importante conocer en términos monetarios los puntos de inflexión que representan el cambio de tendencia de las emisiones que indica el desacoplamiento y la descarbonización de las economías latinoamericanas y caribeñas. Los puntos de inflexión, en dólares por persona a precios de 2005, se presentan en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5
Puntos de inflexión de los modelos de la CKA
(Dólares por persona a precios de 2005)

	América Latina y el Caribe	México y Centroamérica	Caribe	Sudamérica
<i>Puntos de inflexión</i>	12,313	11,729	12,169	10,013
<i>Promedio</i>	3,457	3,092	3,888	3,534
<i>Desviación estándar</i>	2,143	1,943	3,050	1,695

Nota: Los puntos de inflexión y los estadísticos fueron calculados mediante la información estadística y las estimaciones realizadas mediante el método FMOLS.

Los valores promedio del PIB per cápita en América Latina y el Caribe se ubican en 3,457 dólares per cápita con magnitudes cercanas entre las subregiones. Además, los valores de la desviación estándar en donde toda la región y las subregiones de Centroamérica y México y Sudamérica tienen entre 1,695 y 2,143 dólares de dispersión con respecto a sus valores promedio, en comparación con los 3,000 dólares per cápita registrados en el Caribe durante el período de análisis.

Los puntos de inflexión encontrados con los modelos señalan que, para el caso de América Latina y el Caribe, el valor está por encima del ingreso per cápita promedio, es decir, que al alcanzar un ingreso de casi 12,313 dólares anuales, las emisiones de CO₂ per cápita podrían empezar a estabilizarse para posteriormente comenzar a reducirse. Los valores de inflexión para las subregiones también se encuentran por encima del ingreso per cápita promedio (entre un rango de 10,000 a 12,000 dólares) de cada una de ellas, por lo que la estabilización y la reducción de emisiones per cápita aún no se alcanza tomando en cuenta el nivel promedio.

Finalmente, la existencia de una relación de cointegración de largo plazo en la toda la región y en las subregiones lleva a la estimación del vector de corrección de error para poder inferir las posibles existencia de causalidad en sentido de Granger (Granger, 1969; Engle y Granger, 1987) entre las variables mediante modelos dinámicos de

corrección de error y encontrar también relaciones de corto plazo. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.6
Pruebas de causalidad de Granger en panel para América Latina y el Caribe

H_0 : No causa \rightarrow	ΔCO_2pc_{it}	ΔYpc_{it}	ΔYpc^2_{it}	ΔEpc_{it}	$\Delta ERpc_{it}$	ΔAC_{it}	ε_{it-1}
ΔCO_2pc_{it}		0.410 (0.590)	0.126 (0.891)	0.108 (0.993)	0.091 (0.912)	0.628 (0.533)	-0.103 (0.034)*
ΔYpc_{it}	8.842 (0.000)*		2.680 (0.062)**	9.582 (0.000)*	1.937 (0.096)**	2.267 (0.048)*	-0.019 (0.053)**
ΔYpc^2_{it}	9.308 (0.000)*	0.991 (0.371)		9.605 (0.000)*	1.806 (0.165)	1.346 (0.261)	-0.004 (0.061)**
ΔEpc_{it}	4.827 (0.008)**	3.420 (0.046)*	0.480 (0.618)		2.642 (0.064)**	2.852 (0.058)**	-0.094 (0.024)*
$\Delta ERpc_{it}$	5.490 (0.000)*	2.2032 (0.016)*	0.237 (0.788)	2.854 (0.057)**		0.317 (0.727)	-0.006 (0.079)**
ΔAC_{it}	0.173 (0.840)	2.494 (0.050)*	0.427 (0.652)	0.605 (0.546)	0.083 (0.919)		-0.001 (0.093)**

Notas: (*) y (**) Indican rechazo de la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5 y 10% respectivamente. El valor entre paréntesis es la probabilidad de la prueba F. Número total de observaciones = 644. (Δ) indica que las variables están en primeras diferencias. Los valores de las variables están en logaritmos naturales.

Los estadísticos de la prueba F calculados para probar la no causalidad indican que en las emisiones de CO₂ per cápita se acepta la hipótesis nula en cada una de las variables explicativas. En el caso del ingreso per cápita hay evidencia de rechazo de la hipótesis nula en cada una de las variables por lo que hay una fuerte causalidad entre ellas.

En el caso del consumo de energéticos per cápita, los resultados señalan que hay una correspondencia tanto de largo como de corto plazos entre las variables, por lo que causan las emisiones, el ingreso, los energéticos renovables, así como una importante relación con el comercio exterior. Casi similar con las energías renovables per cápita que causan a cada una de las variables, con excepción de la apertura comercial donde se acepta la no causalidad. La variable de apertura comercial solo causa el aumento en el ingreso per cápita de los países.

En general, se muestra evidencia de que hay una alta correlación entre las variables y que existen combinaciones que pueden resultar en causalidades unidireccionales y bidireccionales que están acorde con la teoría económica y los estudios analizados con respecto a este tema.

4.5 Conclusiones

De acuerdo con estudios del IPCC (2007 y 2013), el Cambio Climático antropogénico ha tenido un impacto importante en la actualidad y que continuará en las siguientes décadas ya que la relación entre las emisiones de GEI, principalmente de CO₂, sobre el aumento de la temperatura global y por regiones es alta y positiva, encontrando evidencia de un coeficiente de correlación de 0.85 entre la temperatura promedio y emisiones de CO₂ a nivel mundial.

La revisión de la literatura disponible de la existencia de la CKA señala que existe una cantidad importante de variables que pueden tener un efecto directo sobre los indicadores de impacto ambiental. Para este caso, y debido a las condiciones económicas y sociales de los países de América Latina y el Caribe, se decidió analizar como variable ambiental a las emisiones de CO₂ que estarán en función del PIB per cápita, el PIB per cápita al cuadrado, el consumo de energía total y renovable y el índice de apertura comercial. En base a esas variables, se estimaron 4 modelos econométricos (1 regional y 3 por subregión) mediante la metodología de cointegración para datos panel.

Los resultados señalan, en primer lugar, que hay existencia de heterogeneidad dinámica entre los países como lo indican los resultados de las pruebas ADF, AR y White; y en segundo lugar, las pruebas de raíces unitarias para datos panel con y sin efectos temporales, indican que las series son no estacionarias con orden de integración I(1).

En tercer lugar, las pruebas de cointegración de Pedroni (1999 y 2004) y de Kao (1999) rechazan, de manera general, la no existencia de cointegración en las series, por lo que se descarta también la existencia de regresiones espurias en los modelos de panel heterogéneo que se están utilizando.

En cuarto lugar, las estimaciones mediante el método FMOLS (Pedroni, 2000; Kao y Chiang, 2000) señalan la existencia de la CKA a nivel regional y por subregiones, donde las variables exógenas utilizadas son estadísticamente significativas con impactos diferentes y cada coeficiente de determinación indica que hay un ajuste mayor al 94%. Además, el cálculo de los puntos de inflexión señala que a nivel regional se necesita un ingreso per cápita de casi 12,000 dólares para inicialmente, estabilizar las emisiones de CO₂ per cápita y posteriormente comenzar a disminuirlas.

Los puntos de inflexión a nivel subregional son similares entre ellos y se encuentran por encima del valor promedio del ingreso per cápita de cada uno, y que es reflejo del comportamiento de las emisiones per cápita que durante el período de análisis han estado incrementándose, como lo señalan sus tasas de crecimiento, y donde hay una fuerte relación entre el ingreso y el consumo de energía.

Las pruebas de causalidad en el sentido de Granger (Granger, 1969 y Engle y Granger, 1987) muestran, en general, una fuerte causalidad a corto y largo plazo entre las emisiones per cápita de CO₂ y las variables que las determinan encontrando en las principales variables causalidades bidireccionales o unidireccionales en el caso del índice de apertura comercial.

CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

Los reportes del IPCC (2007 y 2013) y el Informe Stern (2007) dan evidencia de que en la Tierra las emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera han estado incrementándose de manera significativa, principalmente en el caso del CO₂ debido la quema de combustibles fósiles. La modificación de la composición de la atmósfera ha generado el llamado Cambio Climático antropogénico siendo cada vez más indudable.

El calentamiento global ha provocado diversas alteraciones climáticas como los aumentos extremos en la temperatura, las variaciones en las precipitaciones, los efectos negativos sobre la Criosfera (que incluyen el aumento del nivel general de mar); además de la migración y extinción de diversas especies tanto animales como vegetales. Asimismo, habrá impactos sobre la salud de las personas y escasez en recursos fundamentales para la sobrevivencia como son el agua y los alimentos y modificará en general los patrones de producción de diversas actividades económicas.

En la actualidad, la mayoría de los países del mundo siguen patrones de consumo de recursos donde se utilizan de forma ineficiente. Las externalidades negativas más visibles del crecimiento físico y económico de los países tienen que ver con la degradación del ambiente, el agotamiento de recursos naturales y la disminución de la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, muchos de los gobiernos han buscado la forma de implementar mecanismos y políticas públicas buscando la protección del medio ambiente sin perder de vista los compromisos hechos en el Protocolo de Kioto para disminuir las emisiones de GEI y combatir el Cambio Climático.

Por lo tanto, existe una alta correlación entre el crecimiento económico y el uso de los energéticos, siendo estos últimos el principal motor de desarrollo y bienestar de las sociedades en la mayoría de los países, teniendo como ejemplos a Estados Unidos, China y los países de Europa, que a través de las décadas ha encaminado el dinamismo de las economías asiáticas y del algunos países de América Latina y el Caribe, aunque en términos generales las expectativas de crecimiento y sus capacidades productiva han estado por debajo, lo cual los hace difícil llevar a cabo el desarrollo sustentable y la transición hacia economías más verdes.

El comportamiento de las economías y los impactos ambientales provocados por el Cambio Climático han puesto un panorama preocupante que debe de ser atendido de

manera urgente. Por lo cual, en décadas recientes se han llevado a cabo diversas Cumbres y/o Convenciones donde se busca la participación y el compromiso de los países, principalmente de los más desarrollados, para proponer y aplicar políticas de mitigación y adaptación para disminuir los impactos ambientales y ayudar a países que no pueden adquirir o cumplir con diversos objetivos.

Particularmente, en el caso de los países de la región de América Latina y el Caribe han tenido la característica de ser productores de materias primas, además de que la globalización ha ocasionado efectos en el crecimiento de algunas actividades económicas en la región. En consecuencia, la región en general está expuesta a los impactos ambientales y económicos del Cambio Climático.

El crecimiento económico de la región en las últimas 3 décadas ha sido de cerca de 2.7% anual, junto con una importante apertura comercial en países como México, Brasil, Chile y Argentina. Pero los niveles de PIB per cápita ha sido demasiado bajos, registrando 1.2% aproximadamente en toda la región.

El uso de energéticos fósiles en la región muestra aumentos en sus tasas de crecimiento debido sus comportamientos tendenciales ascendentes que también afectan el consumo de energía per cápita que registraron tasas de crecimiento medias anuales de 2.6% en las últimas décadas. Por otro lado, en algunos países sudamericanos han estado impulsando el uso de energéticos renovables. Asimismo la región, no está exenta y es sensible a los impactos de las crisis petroleras y de las fluctuaciones en los precios de los energéticos.

Junto con el incremento del uso de combustibles fósiles, las emisiones totales y per cápita de CO₂ también han aumentado en la región, contribuyendo en un 5% de las emisiones mundiales y donde destacan países como México, Brasil, Venezuela y Argentina que han tenido tasas de crecimiento constantes cercanas al 3% anual en las últimas décadas. A causa de esto, se estima que a finales del siglo XXI en América Latina y el Caribe la temperatura de la superficie aumente entre un rango de 1 a 4°C.

Debido a la existencia de un sinnúmero de teorías y metodologías para analizar la relación entre economía y degradación ambiental, en este trabajo se decidió examinar el comportamiento y las variables que determinan las emisiones de CO₂ per cápita de 1980 a 2010 para 23 países de América Latina y el Caribe mediante la hipótesis de la CKA, la cual, en una primera etapa, cuando aumenta el crecimiento económico, el

impacto o daño ambiental se va a incrementar y posteriormente, en una segunda etapa, el impacto se equilibrará para entonces disminuir cuando se alcanza un punto de inflexión que depende de las condiciones económicas, sociales y ambientales de cada país. Estas etapas son conocidas como los efectos escala, composición y tecnológico (Grossman y Krueger, 1991; Aslanidis, 2009).

Es relevante señalar que el origen de la CKA se puede originar cuando los costos marginales de controlar la degradación ambiental se incrementan rápidamente con el crecimiento del ingreso inicial de la disponibilidad a pagar por la reducción de los daños ambientales.

De acuerdo con la evidencia internacional, la identificación de las formas funcionales de algunas variables ambientales, como la relación cuadrática de la CKA, pueden servir para identificar los factores de los que depende el impacto ambiental y posteriormente se pueden plantear y sugerir soluciones ambientales y económicas.

Los modelos de tipo panel planteados para estimar las CKA de las emisiones de CO₂ per cápita, tanto a nivel regional como por las subregiones (México y Centroamérica, el Caribe y Sudamérica) estarán en función del ingreso o PIB per cápita y su término cuadrático, la demanda de combustibles y energéticos renovables y la apertura comercial.

Los resultados indican la presencia de relaciones de cointegración entre las variables involucradas y la existencia de la CKA en cada uno de los 4 modelos estimados, donde a la región de América Latina y el Caribe tiene un punto de inflexión de 12,000 dólares per cápita, aproximadamente donde se tendría que estabilizar la cantidad de emisiones de CO₂ per cápita y posteriormente comenzar a reducirse generando un proceso de actividad económica baja en carbono.

De acuerdo con la evidencia empírica encontrada, es importante tomar en consideración algunos puntos que pueden ser relevantes para tomar las medidas necesarias que tengan como objetivo la disminución de las emisiones de GEI, principalmente el CO₂, tanto a nivel total como per cápita, por lo que se destacan los siguientes aspectos:

Las emisiones de CO₂ de la región en las últimas décadas se han estado incrementando considerablemente contribuyendo en los impactos ambientales

globales del Cambio Climático, por lo que los gobiernos latinoamericanos y caribeños deben de poner atención en las tendencias de largo plazo de las variables económicas y ambientales y no adoptar metas que puedan ser precipitadas y excesivas o que interfieran con el comportamiento de corto plazo y que permitan llegar a la estacionalidad de las emisiones de CO₂ como lo indican las estimaciones de la CKA (Lee y Lee, 2009).

La actividad económica en América Latina y el Caribe debe tener un mayor dinamismo, aunque en el corto y mediano plazos este fuertemente relacionada con el comportamiento de la economía mundial, principalmente de Estados Unidos y algunos países europeos, ya que los incrementos en la producción y en la apertura comercial tanto cuantitativa como cualitativamente podría contribuir a reducir las emisiones de GEI así como el aumento en la demanda de la calidad ambiental.

Es importante señalar que se deben llevar a cabo cambios en la base productiva de la región impulsando más los sectores económicos, tomando en cuenta los impactos ocasionados por el Cambio Climático sobre todos en el sector agropecuario, el cual debe tener un mayor apoyo. De acuerdo con esto, las estrategias nacionales determinada por cada país toman en cuenta características climáticas, geográficas o socioeconómicas del país en cuestión.

Por lo tanto, los sectores más comúnmente enumerados en las estrategias de adaptación en la región son aquellos referidas al sector hídrico, la infraestructura, los asentamientos humanos, agricultura, biodiversidad, salud y energía. Estas estrategias están orientadas principalmente a atender casos de emergencias ambientales y climáticas y a poner las bases para una mayor resiliencia ante las diversas variaciones climáticas, así como los eventos extremos. Asimismo, los sectores más comúnmente enumerados en las estrategias de mitigación corresponden al sector de energía, transporte, agropecuario, forestal y residuos, los cuales son identificados como los sectores que disponen de mayores potencialidades y oportunidades para disminuir las emisiones de GEI (Sánchez y Reyes, 2015).

Asimismo los países más vulnerables de América Latina y el Caribe deben recibir ayuda de organizaciones internacionales que destinen financiamiento para generar políticas e instrumentos y protejan la enorme cantidad de recursos naturales mediante regulaciones precisas, el desarrollo de la ciencia y tecnología y transformar los

patrones de producción en algunos de los sectores que generen mayores impactos ambientales.

El consumo total y per cápita de energía tiene una importancia en los sectores y en las perspectivas de crecimiento de las economías de América Latina y el Caribe para las siguientes décadas. Por lo tanto, los tomadores de decisiones deben plantearse como objetivo mejorar la eficiencia energética para reducir las consecuencias ambientales de largo plazo (Apergis y Payne, 2009b).

El sector energético debe ser el eje para reducir las emisiones de CO₂ ya que en recientes años, algunos países han estado impulsando de manera significativa el uso de biocombustibles, hidroenergía y energía nuclear en sus actividades económicas, tomando en cuenta las implicaciones que existen en su elaboración y la presión que hay sobre los algunos recursos naturales como los cultivos. Pero hay que destacar que este tipo de energéticos son una importante opción para disminuir las emisiones totales y per cápita de CO₂ como lo evidencian los resultados obtenidos mediante los modelos econométricos empleados en esta investigación.

Una mejor eficiencia energética se debe dar mediante la reducción del impacto por el uso de los energéticos en el aire y en el agua, el cambio de tecnología que hagan más eficiente el uso de combustibles y/o que puedan utilizar también energéticos más limpios, el mejoramiento de la calidad de los energéticos e incrementar el uso de energías renovables. Asimismo, es importante llevar a cabo políticas que motiven el ahorro y la eficiencia del uso de la energía e impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico para disminuir las emisiones en el sector energético, además de hacer frente a compromisos ambientales.

Para disminuir los impactos ambientales derivados de usos excesivos de los energéticos, es importante analizar, plantear, evaluar y llevar a cabo diversas medidas, acciones, instrumentos y políticas tanto económicas, energéticas y fiscales que sean acorde con la situación económica y energética de cada país.

Básicamente en la región, las acciones en adaptación se lleva a cabo en el sector hídrico, en la preservación del capital natural como bosques y biodiversidad. Además, se han puesto en marcha diferentes instrumentos de política pública en sectores clave como agricultura, el sector forestal, las zonas costeras y la salud humana. En el caso de las acciones contra la mitigación de GEI destaca que la mayoría de los países han

adoptado Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) para impulsar, principalmente, proyectos de mayor eficiencia y cambios en la matriz energética y, por tanto, disminución de GEI. La participación en el mercado de carbono y la aplicación de instrumentos fiscales como impuestos sobre las emisiones de carbono aún no tienen una presencia importante en la región, aplicándose solamente en México y Chile. También se han aplicado mecanismos como el de reducción de emisiones debidas a deforestación y degradación de bosques (REDD) y se han establecido fondos y fideicomisos verdes con el fin de financiar las diferentes medidas de mitigación mediante la adquisición de nuevas tecnologías aplicables a los sectores productivos más contaminantes (Sánchez y Reyes, 2015).

Las políticas fiscales a través de los impuestos verdes y/o subsidios verdes pueden contribuir a eliminar o reducir las externalidades negativas de las actividades que ocasiona daño al medio ambiente. Asimismo, la recaudación fiscal proveniente de estas externalidades puede contribuir a una mayor eficiencia económica, a consolidar el balance de las finanzas públicas y permite disponer de recursos fiscales adicionales.

La captación fiscal de más recursos pueden ser destinados a programas sociales, así como realizar reformas energéticas que busquen cambios en el uso de los combustibles que modernicen los sectores económicos, generando energéticos más limpios, el establecimiento adecuado de los precios, así como la planeación y realización de metas energéticas y crear bienes de capital que sean más eficientes en el uso de la energía, entre otros aspectos.

Existen opciones como gravar el uso de energéticos, que pueden resultar una importante fuente de ingresos del gobierno y que pueden destinarse con fines específicos ambientales y a infraestructura vial y además podrían ser vistos como un tipo de derecho de uso, así como para tratar de adquirir nueva tecnología que permitan captar y reducir emisiones de GEI. Además reducen la carga fiscal en otros rubros para los contribuyentes (Hsu, 2011).

Por lo tanto, los impuestos a los energéticos pueden ser una política más eficaz que la disminución o eliminación de los subsidios a los precios de los energéticos que ocasionan un uso excesivo e ineficiente de la energía generando aumento en su demanda, la utilización de más recursos naturales y el incremento en los niveles de GEI.

Finalmente, también es destacado señalar que la aplicación de cualquiera de las políticas e instrumentos ambientales en diversos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, es a mediano y largo plazos por lo que es muy apresurado juzgar su funcionamiento en el corto plazo. Además es indispensable que el diseño de estos instrumentos esté altamente fundamentado científicamente por investigadores de diversas áreas, así como la participación a conciencia entre los diferentes agentes económicos con la meta en común de mejorar su calidad de vida.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Mulali, U., B. Saboori e I. Ozturk (2015), "Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam", **Energy Policy**, 76, pp. 123-131.
- Al Sayed, A.R.M. y S.K. Sek (2013), "Environmental Kuznets curve: Evidences from developed and developing economies", **Applied Mathematical Sciences**, 7(22), pp. 1081-1092.
- Alam, M.S. (2006), "Economic growth with energy", **MPRA Paper**, 1260, University Library of Munich, Germany.
- Anderson, D. y W. Cavendish (2001), "Dynamic simulation and environmental policy analysis: Beyond comparative statics and the environmental Kuznets curve", **Oxford Economic Papers**, 53, pp. 721-746.
- Andreoni, J. y A. Levinson (2001), "The simple analytics of environmental Kuznets curve", **Journal of Public Economics**, 80, pp. 269-286.
- Ang, J.B. (2007), "CO₂ emissions, energy consumption and output in France", **Energy Policy**, 35, pp. 4772-4778.
- Apergis, N. y J.E. Payne (2009a), "Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model", **Energy Economics**, 31, pp. 211-216.
- Apergis, N. y J.E. Payne (2009b), "CO₂ emissions, energy usage, and output in Central America", **Energy Policy**, 37, pp. 3282-3286.
- Apostolakis, B.E. (1990), "Energy-capital substitutability/complementary: The dichotomy", **Energy Economics**, 12, pp. 48-58.
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B.O. Jansson, S. Levin, K.G. Miiler, C. Perrings y D. Pimentel (1995), "Economic growth, carrying capacity, and the environment", **Science**, 268, pp. 520-521.
- Aslanidis, N. (2009), "Environmental Kuznets curve for carbon emissions: A critical survey", **Nota di Lavoro**, 75.2009, Fondazione Eni Enrico Mattei, Italia.
- Asuad, N.E. (2001), **Economía Regional y Urbana: Introducción a las Teorías, Técnicas y Metodologías Básicas**, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Baltagi, B.H. (2013), **Econometric Analysis of Panel Data**, Quinta edición, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom.
- Banerjee, A. (1999), "Panel data unit root and cointegration: An overview", **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, Special Issue 0305-9049, pp. 607-629.

- Bárcena, A. (2010), “*Restricciones estructurales del desarrollo de América Latina y el Caribe: Una reflexión postcrisis*”, **Revista CEPAL**, núm. 100, Abril, Santiago, Chile, pp. 7-28.
- Baxter, M. y R. King (1995), “*Measuring business cycles approximate band-pass filters for economic time series*”, **NBER Working Paper Series**, Núm. 5022, Cambridge, Massachusetts.
- Beckerman, W. (1992), “*Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?*”, **World Development**, 20, pp. 481-496.
- Brock, W.A. y M.S. Taylor (2004), “*The green Solow model*”, **Working Paper**, 10557, NBER, Massachusetts, Cambridge, MA, Junio.
- Bruyn de, S.M., J.C.J.M. van den Bergh y J.B. Opschoor (1998), “*Economic growth and emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves*”, **Ecological Economics**, 25, pp. 161-175.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2002), “*Globalización y desarrollo*”, **Documento de Trabajo**, LC/G.2157(SES.29/3), Santiago, Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2008), “*Estudio económico de América Latina y el Caribe 2007-2008*”, LC/G.2386-P, Santiago, Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2010a), **El Comercio Internacional en América Latina y el Caribe en 2009: Crisis y Recuperación**, Santiago, Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2010b), **Climate Change. A Regional Perspective**, Santiago, Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2014), **La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Paradojas y Desafíos del Desarrollo Sostenible**, Santiago, Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) y GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica) (2003), **Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Guía para la Formulación de Políticas Energéticas**, Santiago, Chile, Diciembre
- Chémery, L. (2003), **Los Climas: Cambios en la Atmósfera**, Larousse, España.
- Cho, C.H., Y.P. Chu, y H.Y. Yang (2014), “*An environment Kuznets curve for GHG emissions: A panel cointegration analysis*”, **Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy**, 9(2), pp. 120–129.
- CMMAD (Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo) (1987), **Nuestro Futuro Común**, Oxford, Oxford University Press.

- Cole, M.A. (2004), "Trade, the pollution haven hypothesis and environmental Kuznets curve: Examining the linkages", **Ecological Economics**, 48, pp. 71-81.
- Cole, M.A., A.J. Rayner y J.M. Bates (1997), "The environmental Kuznets curve: An empirical analysis", **Environment and Development Economics**, 2(4), pp. 401-416.
- Common, M. y S. Stagl (2008), **Introducción a la Economía Ecológica**, Editorial Reverté, España.
- Constantini, V. y C. Martini (2010), "The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sector analysis using non-stationary cointegrated panel data", **Energy Economics**, 32, pp. 591-603.
- Costantini, V. y C. Martini (2006), "A modified environmental Kuznets curve for sustainable development assessment using panel data", **Documento de Trabajo**, 148.2006, Fondazione Eni Enrico Mattei, Diciembre.
- Cropper, M. y C. Griffiths (1994), "The interaction of population growth and environmental quality", **The American Economic Review**, 84(2), pp. 250-254.
- Di Falco, S. (2005), "Examining the environmental Kuznets curve: What Kernel estimation can say?" en P. Koundouri (Ed.), **Econometrics Informing Natural Resources Management: Selected Empirical Analyses**, Edward Elgar, United Kingdom.
- Dickey, D.A. y W.A. Fuller (1979), "Distribution of the estimators for autorregressive time series with a unit root", **Journal of the American Statistical Association**, 74, pp. 417-431.
- Dincer, I. y M.A. Rosen (1999), "Energy, environment and sustainable development", **Applied Energy**, 64, pp. 427-440.
- Dinda, S., D. Coondoo y M. Pal (2000), "Air quality and economic growth: An empirical study", **Ecological Economics**, 34, pp. 409-423.
- Ekins P. (2000), **Economic Growth and Environmental Sustainability**, Routledge.
- Engle R.F. y C.W.J. Granger (1987), "Co-integration and error correction: Representation, estimation and testing", **Econometrica**, 55(2), pp. 251-276.
- Fan, C. y X. Zheng (2013), "An empirical study of the environmental Kuznets curve in Sichuan Province, China", **Environment and Pollution**, 2(3), pp. 107-115.
- Farhani, S., S. Mrizak, A. Chaibi y C. Rault (2014), "The environmental Kuznets curve and sustainability: A panel data analysis", **Energy Policy**, 71, pp. 189-198.
- Ferrer, A. (1998), "América Latina y la globalización", **Revista CEPAL**, núm. extraordinario, Octubre, pp. 155-168.

- Fodha, M. y O. Zaghdoud (2010), "Economic growth and pollutant emissions in Tunisia: An empirical analysis of the environmental Kuznets curve", **Energy Policy**, 38(2), pp. 1150-1156.
- Galaviz, S. y L. Sánchez (2012), "Efecto de la liberalización comercial sobre el nivel de precios de las manufacturas en México: 2007-2011" en L. Martínez y C. Hernández (Coords.), **La Política del Comercio Exterior. Regulación e Impacto**, SE-ITAM, México, pp. 129-145.
- Galeotti, M., A. Lanza y F. Pauli (2006), "Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise", **Ecological Economics**, 57, pp. 152-163.
- Galindo, L.M. (2005), "Estimación de la curva de Kuznets ambiental para las zonas metropolitanas de México", **Documento de Trabajo**, mimeo.
- Gallagher, K.P. (2004), "Economic integration and the environment in Mexico: Lessons for future trade agreements", **Discussion Paper**, 6, Working Group on Development and Environment in the Americas, Junio.
- Goldemberg, J. y T.B. Johansson (1995), "Energy as an instrument for socio-economic development" en T.B. Johansson y J. Goldemberg (eds.), **Energy for Sustainable Development: A Policy Agenda**, New York, United Nations Development Programme, pp. 9-17.
- Goldemberg, J., T.B. Johansson, A.K.N. Reddy y R.H. Williams (1987), **Energy for a Sustainable World**, World Resources Institute.
- Goldman, B. (2012), "Meta-analysis of environmental Kuznets curve studies: Determining the cause of the curve's presence", **Honors Projects**, 117.
- González, J. (2009), **Energías Renovables**, Editorial Reverté, Madrid, España.
- Granger, C.W.J. (1969), "Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods", **Econometrica**, 37, pp. 424-438.
- Granger, C.W.J. y P. Newbold (1974), "Spurious regression in econometrics", **Journal of Econometrics**, 2, pp. 111-120.
- Granja, F. A.F. Mendonca y J.M. Nogueira (2002), "Poverty and environmental degradation: The Kuznets environmental curve for the Brazilian case", **Texto para Discusión**, 267, Universidad de Brasilia, Diciembre.
- Greene, W. (1999), **Análisis Económico**, Prentice Hall, España.
- Groot de, H.L.F., C.A. Whitagen y Z. Minliang (2002), "Dynamics of China's regional development and pollution", **Discussion Paper TI**, 2001-036/3, Tinbergen Institute, abril.
- Grossman, G.M. y A.B. Krueger (1991), "Environmental impact of a North American Free Trade Agreement", **NBER Working Paper**, 3914.

- Gujarati, D.N. y D.C. Porter (2010), **Econometría**, Quinta edición, McGraw-Hill, México.
- Hadri, K. (2000), "Testing for stationary in heterogeneous panel data", **Econometrics Journal**, 3, pp. 148-161.
- Harbaugh, W., A. Levison y M. Wilson (2000), "Reexamining the empirical evidence for an environmental Kuznets curve", **NBER Working Paper**, 7711.
- Hodgson, P.E. (2010), **Energy, the Environment and Climate Change**, Imperial College Press, London, United Kingdom.
- Hodrick, R. y E.C. Prescott (1997), "Postwar U.S. business cycles: An empirical investigation", **Journal of Money, Credit, and Banking**, 29(1), pp. 1–16.
- Holdren, I. (1992). "The transition to costlier energy", en **Energy Transitions**, Schipper, L. y S. Meyers (eds), Stockholm Environmental Institute, Stockholm.
- Holz-Eakin, D. (1986), "Testing for individual effects in dynamic models using panel data", **NBER Technical Working Paper**, Núm. 57.
- Holz-Eakin, D., W. Newey y H. Rosen (1985), "Implementing causality tests with panel data with an example from local public finance", **NBER Technical Working Paper**, Núm. 48.
- Hooker, M.A. (1999), "Oil and the macroeconomy revisited", **Finance and Economics Discussion Series: 1943–1999**, Washington DC, Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Houghton, R.A. y J.L. Hackler (2001), **Carbon Flux to the Atmosphere from Land-use Changes: 1850–1990**, ORNL/CDIAC-79, NDP-050/R1, Oak Ridge, TN, Carbon Dioxide Information Analysis, Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Hsu, S.L. (2011), **The Case for a Carbon Tax**, Island Press, U.S.A.
- Hung, M.F. y D. Shaw (2002), "Economic growth and the environmental Kuznets curve in Taiwan: A simultaneity model analysis", **Working Paper**, Department of Economics, National Cheng-Chi University.
- IEA (Internacional Energy Agency) (2003), **Energy Technology: Facing the Climate Challenge**, Paris.
- IEA (International Energy Agency) (2011a), **CO₂ Emissions from Fuel Combustion. Highlights - 2011 Edition**, Paris.
- IEA (International Energy Agency) (2011b), **Key World Energy Statistics – 2011**, Paris.
- Im, K.S., M.H. Pesaran e Y. Shin (1997), "Testing for unit roots in heterogeneous panel", **Working Paper**, University of Cambridge.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ***Climate Change 2007: The Physical Science Basis***, United Kingdom y New York, USA, Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ***Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment***, Stockholm, Sweden.
- Itkonen, J.V.A. (2010), “Internal validity of estimating the carbon Kuznets curve by controlling for energy use”, ***IFO Working Paper***, 95, Institute for Economic Research, University of Munich, Diciembre.
- Iwata, H., K. Okada y S. Samreth (2010), “Empirical study on the determinants of CO₂ emissions: Evidence from OECD countries”, ***Munich Personal RePEc Archive (MPRA) Paper***, 21520(20), Marzo.
- Johnston, J. y J. Dinardo (2001), ***Métodos de Econometría***, Ediciones Vicens Vives, España.
- Jones, C.I. (2000), ***Introducción al Crecimiento Económico***, Prentice-Hall.
- Jones, L.E. y R.E. Manuelli (2000), “Endogenous policy choice: The case of pollution and growth”, ***Review of Economic Dynamics***, 4, pp. 369-405.
- Kacef, O. y R. López-Monti (2010), “América Latina, del auge a la crisis: Desafíos de la política macroeconómica”, ***Revista CEPAL***, núm. 100, Abril, Santiago, Chile, pp. 41-68.
- Kao, C. (1999), “Spurious regression and residual based tests for cointegration in panel data”, ***Journal of Econometrics***, 90, pp. 1-44.
- Kao, C. y M.-H. Chiang (2000), “On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data”, ***Nonstationary Panels, Panel Cointegration and Dynamic Panels***, Vol.15, pp. 179–222.
- Kauffman, R.K., B. Davidsdottir, S. Garnham y P. Pauly (1998), “The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: Reconsidering the environmental Kuznets curve”, ***Ecological Economics***, 25, pp. 209-220.
- Kelly, D. (2003), “On EKC arising from stock externalities”, ***Journal of Economic Dynamics and Control***, 27, pp.1367-1390.
- Kolstad, C.D. (2001), ***Economía Ambiental***, Oxford University Press.
- Krugman, P. y M. Obstfeld (2001), ***Economía Internacional. Teoría y Política***, Quinta edición, Pearson Educación, España.
- Kuznets, S. (1955), “Economic growth and income inequality”, ***American Economic Review***, 45(1), pp. 1-28.

- Kuznets, S. (1965), ***Economic growth and structural change***, Norton, New York.
- Labandeira, X., C.J. León y Ma. X. Vázquez (2007), ***Economía Ambiental***, Pearson-Prentice Hall, Madrid, España.
- Landa, R., B. Ávila y M. Hernández (2010), “*Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe*”, ***Conocer para Comunicar***, British Council, PNUD, México.
- Lee, C.-C. (2005), “*Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis*”, ***Energy Economics***, 27, pp. 415-427.
- Lee, C.-C. y J.-D. Lee, (2009), “*Income and CO₂ emissions: Evidence from panel unit root and cointegration tests*”, ***Energy Policy***, 37, pp. 413-423.
- Levine, A. y C.F. Lin (1993), “*Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite sample properties*”, ***Working Paper***, Department of Economics, University of California at San Diego.
- Levine, A., C.F. Lin y C.S. Chu (2002), “*Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties*”, ***Journal of Econometrics***, 108, pp. 1-24.
- Li, H., T. Grijalva y R.P. Berrens (2007), “*Economic growth and environmental quality: A meta-analysis of environmental Kuznets curve studies*”, ***Economics Bulletin***, 17(5), pp. 1-11.
- Lipford, J.W. y B. Yandle (2010), “*Environmental Kuznets curves, carbon emissions, and public choice*”, ***Environment and Development Economics***, 15(4), pp. 417-438.
- List, J.A. y C.A. Gallet (1999), “*The environmental Kuznets curve: Does one size fit all?*”, ***Ecological Economics***, 31, pp. 409-424.
- Lomborg, B. (2001), ***The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World***, Cambridge University Press, United Kingdom.
- López, R. (1994), “*The environment as a factor of production: The effects of economic growth and trade liberalization*”, ***Journal of Environmental Economics and Management***, 27, pp. 163-184.
- Lovejoy, T.E. y L. Hannah (2005), ***Climate Change and Biodiversity***, New Haven y London, Yale University Press.
- Maddison, D. (2006), “*Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach*”, ***Journal of Environmental Economics and Management***, 51, pp. 218-230.
- Magnani, E. (2000), “*The environmental Kuznets curve: Environmental protection policy and income distribution*”, ***Ecological Economics***, 32, pp. 431-443.
- Magnani, E. (2001), “*The environmental Kuznets curve: Development path or policy result?*”, ***Environmental Modelling and Software***, 16, pp. 157-165.

- Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers y W. Behrens (1972), ***The Limits to Growth***. Universe Books, New York.
- Mills, T.C. (2003), ***Modelling Trends and Cycles in Economic Time Series***, Palgrave Macmillan.
- Modi, V., S. McDade, D. Lallement, y J. Saghir. (2006), ***Energy Services for the Millennium Development Goals***, Energy Sector Management Assistance Programme, United Nations Development Programme, UN Millennium Project y World Bank, New York.
- Molina, L. y M. Molina (2005), ***La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un Enfoque Integral***, Fondo de Cultura Económica, México.
- Munasinghe, M. (1999), “*Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: Tunneling through the environmental Kuznets curve*”, ***Ecological Economics***, 29, pp. 89-109.
- Munasinghe, M. (2002), “*The Sustainomics trans-disciplinary meta-framework for making development more sustainable: Applications to energy issues*”, ***International Journal of Sustainable Development***, 5, pp. 125-182.
- Najam, A. y C.J. Cleveland (2003), “*Energy and sustainable development at global environmental summits: An evolving agenda*”, ***Environmental, Development and Sustainability***, 5, pp. 117-138.
- Narayan, P.K. (2004), “*Are output fluctuations transitory? New evidence from 24 Chinese provinces*”, ***Pacific Economic Review***, 9(4), pp. 327-336.
- Narayan, P.K. y R. Smyth (2008), “*Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks*”, ***Energy Economics***, 30, pp. 2331-2341.
- Newey, W. y K. West (1987), “*A simple positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix*”, ***Econometrica***, 69(6), pp. 1519-1554.
- Nordhaus, W.D. (1993), “*Economic approaches to greenhouse warming*”, en R. Dornbusch y J.M. Poterba (eds.), ***Global Warming: Economic Policy Responses***, MIT Press, pp. 7-31.
- Nudelman, S. (2013), “*Implicaciones de la crisis financiera y económica en América Latina*”, ***Problemas del Desarrollo***, 175(44), Octubre-Diciembre, pp. 125-146.
- Obstfeld, M. y K. Rogoff (2009), “*Global imbalances and the financial crisis: Products and common causes*”, ***Documento de Trabajo***, Universidad de California, Berkeley y Universidad de Harvard, Noviembre.

- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), IEA (International Energy Agency) y EUROSTAT (Statistical Office of the European Union) (2007), **Manual de Estadísticas Energéticas**, Luxemburgo.
- OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) (2011), **Annual Statistical Bulletin 2010 / 2011**.
- Opschoor, J.B. (1990), *“Ecologische duurzame economische ontwikkeling: Een theoretisch idee en een weerbarstige praktijk”*, en P. Nijkamp y H. Verhugpen (Ed.), **Het Nederlands milieu in de Europese ruimte: Preadvieun van de Koninklijke Vereniging voor Staathuishoudkunde**, Stenfert Kroese, Leiden, pp. 77-126.
- Organización Mundial del Comercio (OMC) y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2009), **El Comercio y el Cambio Climático**, Suiza.
- Orubu, C.O. y D.G. Omotor (2011), *“Environmental quality and economic growth: Searching for environmental Kuznets curve for air and water pollutants in Africa”*, **Energy Policy**, 39, pp. 4178-4188.
- Panayotou, T. (1993), *“Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development”*, **Working Paper WEP2-22/WP238**, Technology and Employment Programme, International Labour Office, Geneva.
- Panayotou, T. (1997), *“Demystifying the environmental Kuznets curve: Turning a black box into a policy tool”*, **Environmental and Development Economics**, 2, pp. 465-484.
- Panayotou, T., A. Peterson y J. Sachs (2000), *“Is the environmental Kuznets curve driven by structural change? What extended time series may imply for developing countries”*, **CAER II Discussion Paper**, 80, Harvard Institute for International Development, Cambridge, MA.
- Pedroni, P. (1999), *“Critical values for cointegration test in heterogeneous panels with multiple regressors”*, **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, Special Issue 0305-9049, pp. 653-670.
- Pedroni, P. (2000), *“Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels”*, **Advanced in Econometrics**, 15, pp. 93-130.
- Pedroni, P. (2004), *“Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pulled time series tests with an application to the PPP hypothesis. New results”*, **Econometric Theory**, 20, pp. 597-627.
- Pezzey, J. (1989), *“Economic analysis of sustainable growth and sustainable development”*, **World Bank Environment Department Working Paper**, 15.
- Phillips, P.C.B. y B.E. Hansen (1990), *“Statistical inference in Instrumental variables*

- regression with $I(1)$ processes”, *Review of Economic Studies*, 57(1), pp. 99-125.
- Phillips, P.C.B. y H.R. Moon (1999), “Linear regression limits theory for non-stationary panel data”, *Econometrica*, 67, pp. 1057-1111.
- Phillips, P.C.B. y P. Perron (1988), “Testing for a unit root in time series regression”, *Biometrika*, 75, pp. 335-346.
- Pindyck, R. y D.L. Rubinfeld (2001), *Econometría. Modelos y Pronósticos*, Cuarta edición, McGraw-Hill, México.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2010), *Gráficos Vitales del Cambio Climático en América Latina y el Caribe*, Santiago, Chile.
- Portes, R. (2009), “Global imbalances”, *Macroeconomic stability and financial regulation: Key issues for the G20*, Centre for Economic Policy Research, Marzo.
- Prebisch, R. (1962), “El desarrollo económico en América Latina y algunos de sus principales problemas”, *Boletín Económico de América Latina*, CEPAL, New York, Febrero.
- Purvis, M y A. Grainger (2004), *Exploring Sustainable Development. Geographical Perspectives*, Earthscan, London, United Kingdom.
- PWC (PricewaterhouseCoopers) (2012), *PWC Low carbon economy index 2012: Too late for two degrees?*, November, United Kingdom.
- Roca, J. y V. Alcántara (2001), “Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case”, *Energy Policy*, 29, pp. 553-556.
- Rodríguez, A. (2009), “Liberalización comercial, balanza comercial e inversión extranjera directa en México: 1980-2006”, *Investigación Económica*, LXVIII(269), Julio-Septiembre, FE-UNAM, México, pp. 73-111.
- Ros, J. (2004), *La Teoría del Desarrollo y la Economía del Crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Rothman, S. (1998), “Environmental Kuznets curve –real progress or passing the buck? A case for consumption based approaches”, *Ecological Economics*, 25, pp.177-194.
- Roubini, N. (2012), “A global perfect storm”, *Project-Syndicate*, Junio.
- Rupasingha, A., S.J. Goetz, D.L. Debertin y A. Pagoulatos (2004), “The environmental Kuznets curve for US counties: A spatial econometric analysis with extensions”, *Papers in Regional Science*, 83, pp. 407-424.
- Ruttan, V.W. (1971), “Technology and the environment”, *American Journal of*

- Agricultural Economics***, 53(3), pp. 707-717.
- Sadorsky, P. (2009), "Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the G7 countries", ***Energy Economics***, 31, pp. 456-462.
- Sala-i-Martin, X. (1994), ***Apuntes de Crecimiento Económico***, Antoni Bosch editor, España.
- Sánchez, L. (2013), "Identificación de los patrones de consumo en América Latina", ***Documento de Trabajo***, CEPAL, mimeo, Chile.
- Sánchez, L. y O. Reyes (2015), "Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general", ***Documento de Trabajo***, Proyecto EUROCLIMA, CEPAL, mimeo, Chile.
- Selden, T.M. y D. Song (1994), "Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution?", ***Journal of Environmental Economics and Environmental Management***, 27, pp. 147-162.
- Shafik, N. (1994), "Economic development and environmental quality: An econometric analysis", ***Oxford Economic Papers***, 46, pp. 757-773.
- Shafik, N. y S. Bandyopadhyay (1992), "Economic growth and environmental quality: Time series and crosscountry evidence" en ***The World Development Report 1992***, The World Bank, Washington, DC.
- Shahbaz, M.A. (2009), "Reassessment of finance-growth nexus for Pakistan: Under the investigation of FMOLS and DOLS techniques", ***The Icfai Journal of Applied Economics***, 8(1), pp. 65-81.
- Sheinbaum, C. y B.J. Ruiz (2012), "Energy context in Latin America", ***Energy***, 40, pp. 39-46.
- Simioni, D. (2003), "Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana", ***Documento de Trabajo***, CEPAL, Chile, Junio.
- Simpson, E.S. (1987), ***The Developing World: An Introduction***, Longman, London.
- Sims, C.A. (1972), "Money, income and causality", ***American Economic Review***, 62, pp. 540-552.
- Smaghi, L. (2008), "The financial crisis and global imbalances - two sides of the same coin", ***BIS Review***, 156/2008, Basilea, Bank for International Settlements, pp.1-5.
- Solow, R. (1956), "A contribution to the theory of economic growth", ***Quarterly Journal of Economics***, 70, pp.65-94.
- Stern, D.I. (2002), "Explaining changes in global sulfur emissions: An econometric decomposition approach", ***Ecological Economics***, 42, pp. 201-220.
- Stern, D.I. (2004), "The rise and fall of the environmental Kuznets curve", ***World Development***, 32(8), pp.1419-1439.

- Stern, D.I. y C.J. Cleveland (2003), "Energy and economic growth" en **Encyclopedia of Energy**, D.I. Stern y C.J. Cleveland (Eds.), Academic Press, San Diego, CA.
- Stern, D.I. y M.S. Common (2001), "Is there an environmental Kuznets curve for sulfur?", **Journal of Environmental Economics and Management**, 41, pp.162-178.
- Stern, D.I., M.S. Common y E.B. Barbier (1996), "Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development", **World Development**, 24, pp. 1151-1160.
- Stern D.I. y R.K. Kaufmann (1996), "Estimates of global anthropogenic methane emissions: 1860–1993", **Chemosphere**, 33, pp. 159-176.
- Stern, N. (2007), **The Economics of Climate Change: The Stern Review**, Cambridge University Press.
- Stokey, N.L. (1998), "Are there limits to growth?", **International Economics Review**, 39, pp. 1-31.
- Suri, V. y D. Chapman (1998), "Economic growth, trade and energy: Implications for the environmental Kuznets curve", **Ecological Economics**, 25, pp.195-208.
- Torras, M. y J.K. Boyce (1998), "Income, inequality and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve", **Ecological Economics**, 25, pp. 147-160.
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) (1998), **The Least Developed Countries**, United Nations, New York y Ginebra.
- UNPD (United Nations Development Programme) (2010), **Human Development Report**, Oxford University Press, New York.
- Unruh, G.C. y W.R. Moomaw (1998), "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", **Ecological Economics**, 25, pp. 221-229.
- Vásquez, E. y J.J. García (2003), "Calidad ambiental y su relación con el crecimiento económico en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá", **Ecos de Economía**, Medellín, 16, marzo, pp. 27-48.
- Williamson, J. (1994), **The Political Economy of Policy Reform**, Institute of International Economics, Washington, D.C.
- World Energy Council (2008), **Energy Efficiency Policies Around the World: Review and Evaluation**, London, United Kingdom.
- Xu, B. (2012), *Climate Change and Mitigation in China*, **Doctoral Thesis**, Industrial Ecology, School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Yang, G., T. Sun, J. Wang y X. Li (2015), "Modeling the nexus between carbon dioxide emissions and economic growth", **Energy Policy**, 86, pp. 164-177.
- Yin, J., M. Zheng y J. Chen (2015), "The effects of environmental regulation and

technical progress on CO2 Kuznets curve: An evidence from China”, **Energy Policy**, 77, pp. 97-108.

Zilio, M. y M.A. Caraballo (2014), “*El final de la curva de Kuznets de carbono? Un análisis semiparamétrico para América Latina y el Caribe*”, **El Trimestre Económico**, vol. LXXXI(1), núm. 321, enero-marzo, pp. 241-270.

A.1 Modelos de datos panel

Se denominan modelos de panel a los conjuntos de datos que combinan series temporales con datos de corte transversal (sección cruzada). Los modelos de datos panel permiten mucha más flexibilidad para modelar las diferencias de comportamiento de las unidades o individuos (Johnston y Dinardo, 2001).

Los modelos de datos panel tienen ciertas ventajas en comparación con otros tipos de datos y modelación, donde destacan las siguientes (Gujarati y Porter, 2010):

- a) Toman en cuenta de manera explícita la heterogeneidad entre las unidades.
- b) Proporcionan una mayor cantidad de información, más variabilidad, menos colinealidad entre variables, más grados de libertad y mayor eficiencia.
- c) Detectan y miden mejor los efectos que no se observan a simple vista en los datos de corte transversal y temporales.
- d) Estudian las observaciones en unidades de corte transversal repetidas y en consecuencia son útiles para analizar la dinámica del cambio.
- e) Se pueden estudiar modelos de comportamiento más complejos.
- f) Reducen el sesgo posible si se agregan individuos en conjuntos numerosos.

Entonces el modelo panel se representa como (Johnston y Dinardo, 2001; Greene, 1999):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + u_{it} \tag{A1}$$

Donde:

- y_{it} = es el valor de la variable dependiente para la unidad de corte transversal i en el período de tiempo t donde $i = 1, \dots, n$ y $t = 1, \dots, T$.
- x_{it} = es el valor de la variable explicativa j -ésima para una unidad i en el período de tiempo t y que está compuesta de K variables explicativas con índice $j = 1, \dots, K$.
- u_{it} es el término de error que puede descomponerse en: $u_{it} = \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$ donde μ_i representa los efectos no observables que difieren entre las unidades pero

no en el tiempo; δ_t se identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo pero no entre las unidades; y ε_{it} que es el término de error puramente aleatorio.

El total de observaciones se determina como $n \cdot T$ y cuando $n = 1$ y T es mayor (grande) se está hablando de series de tiempo y cuando $T = 1$ y n es grande se trata de series de corte transversal, entonces se pueden estimar modelos panel cuando $n > 1$ y $T > 1$.

Los modelos panel se pueden representar matricialmente como:

$$y_i = \begin{bmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{iT} \end{bmatrix} \quad X_i = \begin{bmatrix} X_{i1}^1 & X_{i1}^2 & \dots & X_{i1}^k \\ X_{i2}^1 & X_{i2}^2 & \dots & X_{i2}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{iT}^1 & X_{iT}^2 & \dots & X_{iT}^k \end{bmatrix} \quad \varepsilon_i = \begin{bmatrix} \varepsilon_{i1} \\ \varepsilon_{i2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{iT} \end{bmatrix} \quad (A2)$$

Donde ε_{it} es el término de perturbación de la i -ésima unidad en el período t .

Asimismo, se pueden encontrar los datos representados de la siguiente manera:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (A3)$$

Donde y es $nT \times 1$, X es $nT \times k$ y ε es $nT \times 1$. Por lo tanto, el modelo estándar está representado como:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (A4)$$

Donde: $\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$

Los modelos sencillos de panel tienen los siguientes supuestos econométricos:

(a) $E[\varepsilon_{it}] = 0$

(b) $E[\varepsilon_{it}^2] = \sigma_\varepsilon^2$

(c) $E[\varepsilon_{it}, \varepsilon_{js}] = 0$

Por lo que se supone que $\varepsilon_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma^2)$ para todo i y t .

Esto significa que las observaciones entre las distintas unidades o individuos no están correlacionadas seriamente; y los errores, tanto en los individuos y a lo largo del tiempo, son homocedásticos.

A.2 Tipos de modelos de datos panel

Al realizar la modelación de los datos panel se tienen cuatro posibilidades Gujarati y Porter, 2010; Johnston y Dinardo, 2001):

- (1) **Modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) agrupados**: Se agrupan los datos y se estima una “gran” regresión mediante el método de MCO, sin atender la naturaleza de corte transversal y de series de tiempo de los datos.
- (2) **Modelo de Mínimos Cuadrados con variable dicotómica o ficticias (MCVD) de efectos fijos**: Se toman en cuenta todos los datos, pero se permite que cada unidad de corte transversal tenga su propia variable dicotómica (intercepto).

Si se denomina a α_i como el efecto individual, que es constante a lo largo del tiempo t y específico para cada unidad de corte transversal, entonces, en caso de hacer que las α_i sean iguales para todas las unidades, se pueden calcular estimadores α y β consistentes y eficientes.

En este modelo, las variables omitidas pueden generar cambios en los interceptos, ya sea a través del tiempo o entre unidades de corte transversal, aproximando los efectos fijos con variables ficticias o dummy y considera que existe un término constante diferente para cada individuo y supone que los efectos individuales son independientes entre sí.

Entonces, cada α_i es un parámetro desconocido que debe de estimarse. Por lo tanto el modelo se representa como:

$$y_i = \alpha_i + X_i\beta + \varepsilon_i \quad (\text{A5})$$

Si se reagrupa la ecuación A5, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (\text{A6})$$

Posteriormente, esto equivale a:

$$y = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n \ X] \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} + \varepsilon \quad (\text{A7})$$

Donde d es una variable ficticia o dummy que indica la i -ésima unidad, por lo que al determinar a la matriz $n \times n$, entonces $D = d_1, d_2, \dots, d_n$ reuniendo las nT filas se obtiene:

$$y = D\alpha + X\beta + \varepsilon \quad (\text{A8})$$

El modelo también se puede representar de tres maneras:

- (1) Formulación original: $y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + \varepsilon_{it}$
- (2) En términos de desviaciones: $y_{it} - \bar{y}_i = \beta'(x_{it} - \bar{x}_i) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i)$
- (3) En términos de medias: $\bar{y}_i = \beta' \bar{x}_i + \bar{\varepsilon}_i$

Entonces la estimación de la matriz de covarianza de los parámetros está dada por la formula de la covarianza de MCO aplicando al modelo de diferencia de media:

$$\text{var}(b_{ef}) = \sigma_w^2 (X'X)^{-1}$$

Donde:

$$\sigma_w^2 = \frac{e_{ef}' e_{ef}}{NT - N - K} = \frac{\sum (y_{it} - x_{it}' b_{ef})^2}{NT - N - K} \quad (A9)$$

Entonces, $e_{ef}' e_{ef}$ es la suma al cuadrado de los errores del modelo de efectos fijos, por lo que el cálculo de efectos fijos está dado por:

$$\alpha_i = \frac{\sum y_{it} - x_{it}' b_{ef}}{N} \quad (A10)$$

- (3) **Modelo de efectos fijos dentro del grupo:** Es una derivación del modelo (2) y por cada unidad de corte transversal se expresa cada variable como una desviación de su valor medio, para después estimar una regresión mediante MCO sobre los valores corregidos por la media o sin media.
- (4) **Modelo de efectos aleatorios (MEFA):** A diferencia del modelo MCVD, se supone que los valores del intercepto son una extracción aleatoria de una población mucho mayor de unidades de corte transversal.

Este tipo de modelo trata de capturar las diferencias a través del componente aleatorio. Por lo tanto, considera que los efectos individuales no son independientes entre sí, sino que están distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado.

Asume que el término α_{it} es la suma de una constante común α y una variable aleatoria de sección cruzada invariante en el tiempo u_i que no está correlacionada con los errores ε_{it} . Entonces, el modelo se representa de la siguiente manera:

$$y_{it} = (\alpha + \mu_i) + \beta' x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (A11)$$

Donde μ_i representa la perturbación aleatoria que permite distinguir el efecto de cada individuo en el panel.

Para estimar este tipo de modelos se necesita conocer el siguiente procedimiento:

- Usar los residuales e_{ef} del modelo de efectos fijos para estimar la varianza de ε_{it} usando σ_w^2

- Estimar el modelo entre grupos (sección cruzada) y calcular:

$$\sigma_w^2 = \frac{e_{ef}' e_{ef}}{NT - N - K} = \sigma_{it}^2 = \sigma_B^2 \frac{\sigma_{it}^2}{T}$$

- Aplicar Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) a la variable transformada:

$$y_{it}^* = y_{it} - \lambda y_i, x_{it}^* = x_{it} - \lambda x_i, \text{ donde: } \hat{\lambda} = 1 - \hat{\sigma}_w / \hat{\sigma}_\beta$$

- Los valores computados para los efectos aleatorios son estimados como:

$$\hat{U}_i = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{\hat{\sigma}_{it}^2} (\sum_t y_{it} - x_{it} b_{ef})$$

Esto es debido a que el método de MCO no es aplicable porque no se cumplen los supuestos que permiten que el estimador sea consistente, por lo que MCG realiza estimaciones superiores cuando no se cumplen los supuestos tradicionales y contrarios al modelo anterior.

A.3 Contraste de Hausman para efectos fijos o aleatorios

Se conoce como una prueba de diferencia de medias. Se basa en la idea de que bajo el supuesto de no correlación en donde se plantean las siguientes hipótesis nula y alternativa:

- H_N : coeficientes fijos y aleatorios son similares \rightarrow Estimar efectos aleatorios.
- H_A : coeficientes fijos están son mejores en comparación con los coeficientes aleatorios \rightarrow Estimar efectos fijos.

El contraste se determina como (Greene, 1999):

$$\chi^2(k): H = (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})' [\Sigma_{EA} - \Sigma_{EF}]^{-1} (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF}) = (\hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA})' [COV(\hat{\beta}_{EA}) - COV(\hat{\beta}_{EF})]^{-1} (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF}) \quad (A12)$$

Donde β es el vector de coeficientes, COV es la matriz de varianza – covarianza y k es el número de coeficientes. Si $(\hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA})$ son pequeños, se toman en cuenta las siguientes decisiones:

- Si prob. < 0.05 \rightarrow se acepta H_N
- Si prob. > 0.05 \rightarrow se acepta H_A