PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ECONOMÍA

Trabajo de Integración Curricular previa a la obtención del título de Economista

Artículo Académico

La Curva de Kuznets Ambiental desde un enfoque de cambio climático para los países sudamericanos, 1990 - 2018

Karol Valeria Medis Báez

kmedis@puce.edu.ec

Dra. María de los Ángeles Barrionuevo

mabarrionuevom@puce.edu.ec

Quito, 10 de junio del 2022

Resumen

Este artículo analiza la relación entre cambio climático y la actividad económica de 11 países de América del Sur mediante la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) entre los años 1990-2018. Se utiliza como variable de cambio climático a los gases de efecto invernadero (GEI), debido a su participación en el deterioro de la atmósfera y biósfera en los últimos años. Los resultados del modelo de panel para las emisiones de dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y óxido nitroso (N20), muestran una alta correlación entre dichas variables con las variables económicas como el PIB per cápita y el Ingreso per cápita, mostrando que las emisiones de GEI son producto del crecimiento económico de los países. Los resultados permiten demostrar que los países Sudamericanos respaldan los postulados de la teoría desarrollada detrás de esta hipótesis y permite demostrar que esta serie de 11 países debido a las características económicas de la región, se encuentran en una fase constante de crecimiento económico y por ende de un aumento constante del deterioro de la calidad del medio ambiente. Además, los resultados muestran que la hipótesis de la CKA para los países Sudamericanos puede ser respaldada siempre y cuando se utilicen más gases para el análisis que solo el CO2 como en otras investigaciones en las cuales a veces se pone en duda la existencia de esta hipótesis. Las estimaciones determinaron una forma de curva creciente para todos los países de la región, tomando en cuenta que al ser países en desarrollo que aún no han alcanzado su límite de crecimiento, su punto de inflexión para el cambio de tendencia de la curva estaría lejos de ser alcanzado por la mayoría de los países ya que no todos cuentan con el mismo nivel de desarrollo y crecimiento económico.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, acuerdo de París, crecimiento, deterioro ambiental y datos de panel.

Abstract

This article analyzes the relationship between climate change and the economic activity of 11 Countries in South America using the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis between the years 1990-2018. Greenhouse gases (GHG) are used as a climate change variable, due to their participation in the deterioration of the atmosphere and biosphere in recent years. The results of the panel model for emissions of carbon dioxide (CO2), methane (CH4) and nitrous oxide (N20), show a high correlation between these variables with economic variables such as GDP per capita and Income per capita, showing that GHG emissions are the product of the economic growth of countries. The results allow to demonstrate that the South American countries support the postulates of the theory developed behind this hypothesis and allows to demonstrate that this series of 11 countries due to the economic characteristics of the region, are in a constant phase of economic growth and therefore of a constant increase in the deterioration of the quality of the environment. In addition, the results show that the CKA hypothesis for South American countries can be supported as long as more gases are used for analysis than just CO2 as in other research in which the existence of this hypothesis is sometimes questioned. The estimates determined a form of increasing curve for all the countries of the region, taking into account that being developing countries that have not yet reached their growth limit, their turning point for the change of trend of the curve would be far from being reached by most countries since not all have the same level of development and economic growth.

Keywords: Greenhouse gases, Paris agreement, growth, environmental deterioration and panel data

Introducción

A partir de la década de los años sesenta, ha comenzado a surgir una preocupación enfocada al medio ambiente, debido a la creciente conmoción de los científicos de la época quienes advertían que la Tierra atravesaba un problema nunca antes visto vinculado directamente con el deterioro ambiental (Correa, 2005). Años más tarde, el dilema entre crecimiento económico y medio ambiente seguía tomando interés en los economistas quienes comenzaron a proponer nuevas alternativas para la economía al vincular el medio ambiente como parte fundamental del sistema económico. Complementariamente, la preocupación por el medio ambiente en los últimos años se lo ha venido asociando con el cambio climático, al ser este una variación de las condiciones normales del clima, atribuido a las diferentes actividades humanas que tienen repercusión sobre la atmosfera (Díaz, 2012) como un resultado principal de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo estos los principales causantes del cambio climático que han se venido suscitando en las últimas décadas. En el año 2008 durante la Cumbre de Poznan en Polonia, se llegó a la conclusión que el cambio climático es el resultado de las emisiones de GEI que son ocasionados por el uso de combustibles fósiles como principal fuente de energía para varias de las principales actividades humanas. Gerarda Díaz (2012) resalta que las actividades humanas generan cuatro principales GEI de larga permanencia: CO2, CH4, N2O y Halocarbonos (gases que contienen Flúor, Bromo y Cloro). Cabe recalcar que los estudios muestran que el N2O es el GEI que representa más del 55% de las emisiones globales. El problema de estos gases es que han venido aumentando la temperatura global de la Tierra lo que ha generado una serie de problemas ambientales como: veranos más intensos, inviernos mucho más duraderos, derretimiento de los casquetes polares, lluvia ácida, entre otros.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) junto con una serie de países han intentado tomar varias medidas y acuerdos para reducir las emisiones de GEI como el acuerdo de París (Iwata, Okada & Samreth, 2010). En este sentido, la ONU ha venido buscando una estabilidad en el nivel de emisiones que la mayoría de los países tiene, y que en ciertos casos varios de los países han venido mostrando niveles de emisiones alarmantes para la población en general. El objetivo de estos convenios es que el Estado de cada país se pueda comprometer a través de regulaciones y políticas ambientales que ayuden a controlar las actividades humanas que generan impacto sobre el medio ambiente a través de las emisiones de GEI.

El desarrollo del tema ambiental en la economía, especialmente relacionado al crecimiento económico ha permitido la modelización de nuevos planteamientos que permiten explicar cómo este afecta al medio ambiente. En el año de 1990 el economista Panayotou publicó en la revista Economía Ecológica Vol. 25 un modelo que explica el crecimiento y la afectación al medio ambiente por medio de la hipótesis de la Curva de Kuznets (CK), pero enfocado al medio ambiente. La CK fue creada en 1955 por Simon Kuznets partiendo de la hipótesis que la desigualdad de la renta aumenta en función del crecimiento del PIB per cápita hasta llegar a un punto de quiebre en donde que, a medida que el PIB per cápita aumenta, la desigualdad de la renta comienza a descender, formando una especie de “U” invertida relacionando así el comportamiento de sus variables (Weil, 2006).

Desde entonces, la relación entre crecimiento económico y deterioro ambiental se ha denominado como Curva de Kuznets Ambiental (CKA), creando así una importante hipótesis entre estas dos variables. La hipótesis de la CKA establece que la relación entre el nivel de ingreso per cápita y el deterioro de la calidad del medio ambiente, se representa por una curva con forma de U invertida (Grossman y Krueger, 1993 y 1995; Stern, 1998), indicando que bajos niveles de ingreso están correlacionados con un creciente deterioro en el medio ambiente, pero después de un cierto punto de inflexión del ingreso per cápita, la relación entre las dos variables se vuelve negativa y por ende la curva tiende a seguir una trayectoria decreciente, así, un mayor nivel de ingreso per cápita corresponde a una disminución en la degradación ambiental (Grossman y Krueger, 1995). Esta hipótesis se apoya en el argumento que a mayores niveles de desarrollo implican un cambio en la estructura de la economía en favor de la industria y servicios, donde los procesos de producción se basan en tecnologías más eficientes, que ayudan a conservar los recursos naturales y de esta manera, reducir de forma significativa el deterioro del medio ambiente (Grossman y Krueger, 1995).

La hipótesis de la CKA, sin embargo, ha sido el centro de un debate entre investigadores quienes han cuestionado la veracidad de este modelo, por un lado, existen investigaciones que pudieron validar empíricamente su hipótesis y por otro lado hay investigadores que han criticado los resultados obtenidos. Dicho esto, parte de la controversia de este modelo se enfoca en la pendiente de la curva, la cual implícitamente

contiene dos observaciones con fuertes implicaciones de política. La primera es que el PIB es al mismo tiempo la causa y la cura del problema ambiental (Galeotti, 2006). Según la CKA, la degradación ambiental es un costo necesario para sostener el proceso de crecimiento en sus etapas más tempranas, pero una vez superado determinado nivel crítico, sucesivos aumentos de producto redundan en mejoras en la calidad ambiental. La segunda observación es que, si bien el crecimiento económico precede a la degradación ambiental en las etapas tempranas del proceso, al final la mejor y probablemente la única manera de alcanzar un entorno ambiental adecuado en la mayoría de los países es que éstos se vuelvan ricos (Beckerman, 1992).

Los estudios empíricos por lo general llegan a la misma conclusión en que la hipótesis de la CKA se cumple en los países desarrollados por haber alcanzado un punto de inflexión en la curva en donde el crecimiento económico estaría dejando de afectar la calidad ambiental y más bien el crecimiento se enfocaría en velar por la preservación del medio ambiente. Por otro lado, en los países en desarrollo en el continente sudamericano específicamente, las investigaciones han arrojado conclusiones dispersas en cuanto a la comprobación de la hipótesis de la CKA ya que, muchos logran apoyar sus conjeturas, pero otras investigaciones por el contrario rechazan esta hipótesis por la cantidad de limitaciones que puede llegar a tener y también porque la región sudamericana tiene asimetrías económicas, estructurales y ambientales a diferencia de los países desarrollados y entre sí.

Con lo antes mencionado, el presente articulo busca corroborar la hipótesis de la CKA para un grupo de 11 países de la región sudamericana (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela), para un período de tiempo de 1990 a 2018 por medio de un estudio econométrico de datos de panel en el cual se utilizará las series históricas de los tres principales gases de efecto invernadero (C20, CH4 y N2O) que la literatura sobre el medio ambiente y cambio climático señala como los más peligrosos. De esta manera, se podrá constatar si la hipótesis de la CKA se puede cumplir en la región sudamericana pese a las critica que ha tenido el modelo, pero también se busca analizar los trabajos anteriores para comparar sus conclusiones con las obtenidas en este artículo. Además, se tiene por objetivo contrastar el comportamiento de la CKA como resultado de la emisión de GEI entre los países sudamericanos y contratar los resultados obtenidos con las investigaciones previas en esta área.

Este documento se divide en tres secciones. En la primera, se mencionará la teoría que sustenta la hipótesis de la CKA junto con los principales trabajos empíricos, en la segunda sección se desarrollará la estadística descriptiva del conjunto de variables y el grupo de países. Finalmente, en la tercera sección se desarrollará el modelo econométrico y se discutirán los principales resultados al igual que las conclusiones de todo el artículo.

Revisión de literatura

El nuevo paradigma de la economía ambiental y ecológica

Con el inicio de la Revolución Industrial el planeta Tierra comenzó a ser testigo de un periodo de transformación en el aspecto económico, social y ambiental. A partir de entonces la población mundial empezó un constante proceso de crecimiento y con ello un aumento de la demanda de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la creciente población. Hasta la presente se conoce que el planeta tiene 8.000 millones de habitantes, esta cifra a comparación de la Revolución Industrial en donde la población apenas era de 800 millones (Sachs, 2015), muestra que durante todo este periodo la humanidad ha crecido aproximadamente diez veces más. Cabe recalcar que el crecimiento demográfico ha significado una constante lucha por la distribución de los recursos y entre ellos también los recursos naturales (Sachs, 2015). Sin embargo, el crecimiento de la economía mundial no asegura una distribución equitativa de los ingresos tanto entre países como dentro de cada país (Sachs, 2015). De esta manera se dice que la economía tiene características heterogéneas tanto a la hora de producir como a la hora de consumir y distribuir.

El sistema económico no solo asegura el bienestar para ciertos grupos, sino que también depende en gran medida de los recursos que la naturaleza le provee para mantener todo tipo de procesos productivos que el mercado requiere. De esta forma, Jeffrey Sachs (2015) señala que la economía mundial es la causante de una crisis ambiental producto del consumo y explotación de los recursos naturales que se ha venido desarrollando a través de los años. Como respuesta a este problema Sachs destaca el papel que tomó la Comisión Brundtland

en el año 1984 en el marco de una conferencia de la ONU enfocada en el medio ambiente en donde se mencionó por primera vez el concepto de Desarrollo Sostenible entendiéndolo como, un entorno en donde se "satisface las nesesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de la generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Moreno, 2010). Así mismo Sachs recoge la propuesta de la comisión y sugiere que el desarrollo sostenible se lo debe compreder como la interacción de tres sistemas: economía mundial, sociedad global y el medioambiente físico de la Tierra. Esto quiere decir que el desarrollo sostenible es un proceso de interacción en el cual las acciones de la sociedad global en el sistema económico presente tienen consecuencias en el medioambiente y que sin duda estas serán evidenciadas por las generaciones futuras.

En base a lo antes mencionado, Miñón (2003) rescata los tres sistemas fundamentales y hace una ampliación a esta visión aportando que el desarrollo sostenible para ser entendido bajo este concepto deberá comprender los siguientes aspectos: el primero que sea ambientalmente sano ya que tiene que ser un desarrollo que no destruya el medioambiente, el segundo debe ser socialmente justo porque tiene que ser un desarrollo solidario con las futuras generaciones y el tercero es un sistema económicamente viable porque se dice que, al ser la economía la causante de la crisis ambiental, el ajuste debe venir por el lado del sistema económico. Considerando esta propuesta teórica se puede comprender fácilmente que el desarrollo sostenible implica más que solo un ajuste superficial al modelo tradicional de producción y consumo, siendo este un sistema alternativo capaz de trascender en los tres pilares antes mencionados realizando cambios estructurales en cada uno de ellos.

Moreno (2010) afirma que la noción de desarrollo sostenible a pesar de ser un concepto nuevo ya había sido abordada por la economía de manera directa o indirecta en áreas como el crecimiento y desarrollo económico, específicamente desde la visión de la economía ambiental como una rama de la economía neoclásica que se enfocaba en la degradación ambiental. La economía ambiental según Aguilera & Alcántara (1994) estudia dos cuestiones: las externalidades y la asignación óptima de recursos naturales. Esta visión recoge los elementos de la economía neoclásica para determinar en el caso de externalidades un impuesto compensatorio por contaminación y en el caso de la asignación óptima una maximización que determine la cantidad de factores que deben ser utilizados. De esta manera, la economía ambiental presenta propuestas que buscan mejorar el funcionamiento del sistema económico aunque este no implique un cambio de forma estructural (Moreno, 2010). Bajo esta visión Moreno (2010) enfatiza que el medio ambiente es considerado como un bien económico, ya que toma en cuenta a los recursos naturales renovables y no renovables como una forma de capital que puede ser sustituído con capital físico en los procesos de optimización. Cabe recalcar que estos bienes naturales muchas veces tienen características de bienes no económicos por no tener un precio y un propietario definido y que su valor es el resultado de una valoración en función de los costos de extracción y distribución. Por esta razón, el medioambiente se encuentra fuera del mercado económico, lo que hace que bajo la visión de la economía ambiental se requiera necesariamente de la internalización de costos de externalidades de la utilización de los recursos naturales para poder determinar un precio y que estos adquieran las caracteristicas de un bien económico para que se los valore como bienes comunes del mercado. De manera general la economía ambiental se fundamenta en los mismos conceptos de la teoría neoclásica en analizar la escasez y abundancia de los bienes, de tal manera qué, cuando sean bienes escazos se los trate como bienes económicos, mientras qué, cuando son bienes abundantes ya no son considerados bienes económicos (Chang, 2005).

En contraste, surge la visión de la economía ecológica como una propuesta que considera que el sistema económico se lo debe ver como un sistema abierto a la entrada de energía y al mismo tiempo como un sistema cerrado a la entrada de materiales que entiende que la Tierra tiene límites caracterizados principalmente por la dinámica de la biósfera (Martínez Alier & Roca, 2000). Así mismo, la economía ecológica rechaza muchas de las propuestas de la economía neoclásica ya que esta última toma en cuenta que los postulados tradicionales son parte del problema y no una solución estructural que ayude a encaminar al desarrollo de una interdependencia general entre el sistema económico y el ambiental (Moreno, 2010). Borrayo López (2002) hace un contraste conceptual de la economía sostenible, considerando que para la economía ecológica la noción de la sostenibilidad se visualiza como ambiental y establece los siguientes aspectos que caracterizan a la economía ecológica. En primer lugar, la economía ecológica incorpora los procesos vitales para el

medioambiente y busca respetar las leyes de la biofísica para estructurar de mejor manera las actividades económicas. Como segundo aspecto, busca influenciar en el comportamiento social para generar valores sobre el cuidado ambiental de tal manera que los valores sociales trasciendan a los valores individuales. Finalmente, promueve el enfoque de desarrollo sostenible con el objetivo de proteger las especies tanto de flora y fauna al igual que sus hábitats, adoptando comportamientos ecológicamente viables al momento de utilizar los recursos naturales. Así, el estudio de la economía ecológica se fundamenta en el proceso de metabolismo social que por ende contabiliza los flujos de energía y los ciclos de materiales en la economía. Además, se analizan las brechas que existen entre los procesos biológicos y económicos considerando también los procesos internos que tienen las especies. De tal manera qué, se busque una forma de generar desarrollo sin afectar ni alterar los entornos naturales y procesos biológicos que han sido naturalmente establecidos (Martínez Alier & Roca, 2000).

Origen de la Curva de Kuznets Ambiental

Considerando los postulados antes comentados, la CKA se adscribe a la visión de la economía ambiental debido a la naturaleza de uno de sus principales supuestos en el cual menciona que es necesario mantener un período de deterioro ambiental para lograr condiciones óptimas de crecimiento hasta alcanzar un nivel estable, en donde definitivamente se pueda pensar en cuidar el medio ambiente. Sin embargo, es necesario conocer su origen y sus primeros postulados antes de ser vinculada con el medio ambiente.

La Curva de Kuznets nace en 1955 con el economista Simón Kuznets quién estableció que, a medida que un país crece, la desigualdad de la renta también comienza a aumentar hasta llegar a un punto de inflexión en donde la desigualdad comienza a bajar a medida que el crecimiento económico aumenta (Weil, 2006). Esta hipótesis se la representó a través de una curva que tiene forma de U invertida que refleja que los países, en un primer momento, estarán enfocados en crecer y desarrollarse sabiendo que internamente se genera una brecha de desigualdad en su población. Sin embargo, una vez que las economías hayan alcanzado un nivel deseable comenzarán a enfocarse en disminuir esta brecha a través de programas y políticas que mejoren la condición de la población, tomando en cuenta que tendrán los recursos necesarios para afrontar estos problemas.

En los años 90 comienzan a surgir los primeros estudios empíricos enfocados a comprobar la hipótesis de la CKA que fueron liderados por el economista Panayoutu. Más adelante, la hipótesis fue formulada por Grossman y Krueger (1991) tomando como referencia el modelo de U invertida que había formulado Simon Kuznets en un inicio, pero esta vez aplicado al medio ambiente. El estudio de Grossman & Krueger (1991) explica como el crecimiento económico implica un efecto negativo sobre el medio ambiente, tomado como hipótesis que la cantidad de contaminación generada aumenta cuando la actividad económica también sigue esa tendencia. Sin embargo, el crecimiento de la curva se revierte y el daño al medio ambiente se reduce gracias a los avances tecnológicos y cambios en la estructura productiva, resultado del primer periodo de intensivo crecimiento generando así menos contaminación e impacto al medio ambiente. Para el año de 1992, el Banco Mundial al igual que otros investigadores como Shafik y Bandyopadhyay, Selden y Song, Holtz-Eakin y Selden realizaron investigaciones enfocadas también en mostrar la relación existente entre el crecimiento económico y el deterioro ambiental con el objetivo de corroborar el trabajo inicial Grossman y Krueger.

La hipótesis de la CKA ha sido el centro de un debate entre investigadores quienes han cuestionado la veracidad de este modelo. Por un lado, existen investigaciones que pudieron validar empíricamente su hipótesis y por otro lado hay investigadores que han criticado los resultados obtenidos. El centro de la discusión se enfoca en la capacidad que tiene la CKA dentro de un estudio empírico para arrojar resultados lógicos y veraces tomando en consideración los indicadores del deterioro ambiental, el período de la investigación, el nivel de ingreso y si la data se ajusta a una sección cruzada o de panel (Perman, 2003). Además, se argumenta que no en todo momento ni en todas las economías existen patrones regulares entre el ingreso per cápita y la degradación ambiental, puesto que en muchos casos la presencia de factores externos como la innovación tecnológica, el rol de las instituciones y las regulaciones en materia ambiental, pueden crear un sesgo a la hora de comparar el comportamiento de la CKA entre países (Catalán, 2014). Así mismo, Zilio (2012) destaca dos elementos de crítica sobre la hipótesis de la CKA que han sido señalados por otros investigadores, quienes se han enfocado

en la teoría que existe detrás de la construcción de la pendiente de la curva en forma de U invertida de este modelo. Dichos elementos se basan en los siguientes argumentos: el crecimiento económico sería la enfermedad y la cura del deterioro ambiental en un momento especifico, y que la única manera en la cual se podría pensar en preservar el ambiente será cuando un país haya logrado ser relativamente rico (Beckerman, 1992; Galeotti, 2006). En efecto, Arrow (1995) señala que el crecimiento económico no resuelve el deterioro ambiental sin antes contar con reformas que limiten la contaminación que generan los distintos sectores y el uso de los recursos.

De manera general, la actividad económica está sujeta a un uso constante de energía y materiales para los diferentes procesos productivos. Como se mencionó anteriormente, el sistema económico es un sistema abierto en el cual cada uno de los procesos productivos están vinculados al medio ambiente lo que indica que si bien es cierto el planeta es proveedor de recursos, se utiliza una gran cantidad de energía y al final del proceso se genera una gran cantidad de residuos y se emite una serie de gases. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en 1992 en Río de Janeiro, definió al cambio climático como un proceso en el cual existe una alteración directa sobre el clima que es evidente y trae consecuencia directa sobre los ciclos ecológicos normales y además persiste durante periodos prolongados. Más adelante, Miller (2007) sostiene que el cambio climático tiene que ver con todas las modificaciones en cualquier aspecto que el planeta pueda sufrir como aumentos radicales de temperaturas, lluvias torrenciales, intensas nevadas y veranos exhaustivos.

Gases de Efecto Invernadero y Cambio Climático

Con lo antes mencionado, es importante analizar las características de los principales gases de efecto invernadero que se ubican en la atmósfera el CO2, el CH4 y el N2O. El CO2 al ser el principal GEI con la mayor participación de emisión a nivel global, es el resultado de tres de las principales actividades humanas que se realizan día a día en todos los países del mundo. La movilización y transporte por todos los medios, la producción industrial de los distintos sectores económicos y los procesos del sector energético. Yolanda Benito (2016) señala que dos tercios de las emisiones de CO2 han sido el resultado de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) y un tercio procede de los cambios en la utilización del suelo (agricultura y deforestación). De este resultado se estima que alrededor de un 45% de las emisiones totales se quedan en la atmósfera, el 30% se absorbe en los océanos y el 25% final se establece en la biósfera de la tierra. Para el caso del CH4, se dice que su permanencia en la atmósfera es aproximadamente de 12 años y que tiene un efecto 28 veces más potente que el CO2, es decir, una tonelada de metano podría calentar 28 veces más la atmósfera que una tonelada de dióxido de carbono. Esta situación indicaría que este gas a pesar de no tener una participación en emisiones similar a la del CO2, terminaría siendo mucho más letal que el CO2 si sus emisiones continuaran aumentando (Benito, 2016). Por otro lado, el óxido nitroso es un gas que actualmente no tiene una participación semejante a la del CO2, pero se cree que en los próximos años su participación será de 300 veces más alta que la del dióxido de carbono. Este gas es el resultado de actividades como la agricultura, el uso de fertilizantes y los residuos del sector textil (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2021).

Específicamente estos gases se los ha denominado de efecto invernadero por su capacidad de impacto en la atmósfera ya que, generan una consecuencia letal a nivel global que sigue la siguiente dinámica: a mayor emisión de gases producto de la actividad económica, existe una mayor acumulación de estos en la atmósfera produciendo que la temperatura global comience a aumentar simulando la sensación de un invernadero, pero con efectos a nivel global. Los GEI son el resultado de actividades como la quema de combustibles, la cría de ganado, el uso de vehículos, la actividad industrial, degradación de residuos, entre otros. Por otro lado, el aumento de la emisión de GEI ha ocasionado que se genere un problema ambiental de impacto global como: la destrucción de la capa de ozono, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Moreno, 2010); siendo el cambio climático el problema más relevante de la sociedad actual.

La literatura coincide en definir al cambio climático como las alteraciones que los sistemas naturales físicos y biológicos han sufrido fruto de la actividad económica extractiva y contaminante (Boada & Toledo, 2003). Como resultado de esta afectación global y la creciente preocupación de los países, en el año 2015 se firmó el denominado “Acuerdo de París” en el cual se acordó reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la modificación de los sistemas productivos y actividades humanas que sean causantes de este problema. El objetivo central del Acuerdo de París es reforzar la respuesta global ante la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados (Di Pietro, 2017). El acuerdo promueve la creación de estructuras tecnológicas y resilientes que puedan combatir el cambio climático. Todos los esfuerzos que los países han alcanzado deberán ser reportados a través de informes en donde se detalle específicamente los logros y propuestas para combatir este problema. El acuerdo ha motivado a cientos de países a elaborar una agenda que actúe contra la emisión de gases a nivel local y englobe una serie de políticas ambientales encaminadas al cumplimiento de objetivos planteados en el acuerdo.

Azqueta, Alviar, Domínguez y O'Ryan (2007) abordan el tema del cambio climático como un problema global que tiene repercusiones para todos los habitantes del planeta, producto de la misma acción humana ocasionada por las activiades económicas y cotidianas que, por lo general traen consigo impactos ambientales en diferentes escalas y en diferentes formas. Los autores también señalan el rol que han venido tomando los acuerdos, protócolos y cumbres internacionales en los últimos años, como una medida urgente de salvaguardar el planeta de los efectos del cambio climático, sobre la cuál los distintos países se suscriben a una serie de linamientos y estrategias para mitigar el impacto ambiental de la actividad humana. Sin embargo, estas medidas no tienen un resultado visible en el corto plazo y en ciertas ocasiones se cree que los objetivos propuestos pueden estar lejos de ser alcanzados (Azqueta, Alviar, Domínguez, & O'Ryan, 2007). Este problema global se hace cada más difícil de enfrentar al no exisitir una autoridad supranacional que logre regular a todos los países por igual o velar por el cumplimiento estricto de sus acuerdos lo qué hace que el problema del cambio climático quede a merced de pocos gobiernos totalmente comprometidos y entidades internacionales sin ninguna jurisdicción que logren regular uniformemente el comportamiento global frente al cambio climático.

Primeros estudios de la CKA en América Latina

El Banco Mundial presentó una relación en forma de “U” invertida entre el ingreso per cápita y las concentraciones de CO2 y azufre en el aire de las ciudades. Este estudio indicó como el crecimiento de las industrias y de las ciudades concentraban estos GEI, principalmente en las ciudades con intensiva actividad industrial. Mientras que Selden y Song hallaron una relación similar en términos per cápita para el ingreso nacional y los GEI como el Dióxido de Azufre (SO2), el Óxido de Nitrógeno (NO) y Monóxido de Carbono (CO). Shafik y Bandyopadhyay (1992) encuentran una relación en forma de “U” invertida entre la deforestación total y el ingreso nacional, tomando en consideración que muchos de los sectores industriales incurren a la tala de árboles, especialmente en aquellas industrias extractivas. Estas primeras investigaciones de manera particular llegan a la conclusión que las condiciones ambientales seguirán empeorando a medida que el crecimiento económico también siga la misma dirección, estos estudios fueron realizados especialmente para países desarrollados en dónde la actividad industrial era mucho más intensa que en los países en desarrollo. No obstante, los autores también hablan de las economías menos prósperas mencionando que el crecimiento en un futuro afectaría mucho más a las condiciones ambientales en estos países que en los países desarrollados dado qué, muchas empresas en aquella época relocalizaron sus operaciones a estos países y comenzaron intensivamente a extraer sus recursos.

Nuevamente, Grossman y Kruger (1995) contrastan los hallazgos de los estudios antes mencionados en un trabajo denominado Crecimiento económico y Medio Ambiente en el cual muestran la relación del PIB con varios indicadores ambientales en un estudio de datos de panel. Los autores utilizan las variables contaminación del aire urbano y las cuencas hidrográficas para mostrar el impácto que tiene la actividad económica frente a la calidad ambiental. Los resultados obtenidos revelan que, si bien es cierto la actividad económica influye en las condiciones ambientales, no es una causa de daño inevitable al medioambiente. Por el contrario, los autores encuentran que para los países más pobres, la calidad del agua y del aire se podría beneficiar siempre y cuando

los países alcancen un nivel considerable de ingresos, sugiriendo que el punto de inflexión de la CKA ocurre cuando las economías alcanzan un ingreso mayor a los 8 mil dólares percápita (dólares de 1985).

A pesar de las críticas recibidas, la estimación de la CKA realizada en estudios empíricos principales como los de Grossman (1991) y Selden (1994) arrojan resultados y recomendaciones importantes para el problema del cambio climático, dado que, sus modelos toman como variables a las emisiones de GEI como un resultado de la actividad económica. Entre los resultados obtenidos, sobresalen proyecciones de emisiones de gases para escenarios futuros y los efectos que estos tendrían en la capa de ozono, los tipos de gases que son más letales que otros en términos de degradación ambiental, así como también las implicaciones que debe tener la política para evitar que el medio ambiente entre en un proceso irreparable. Cabe recalcar que todas estas primeras investigaciones fueron realizadas a inicios de los años noventa y dos mil, es decir, son investigaciones elaboradas años antes de la creación de tratados internacionales como el Acuerdo de París que buscan resolver el impacto de las emisiones de los GEI sobre el cambio climático. En las últimas investigaciones se ha buscado abordar el tema del cambio climático a partir de la creencia que el aumento de las emisiones de GEI son el principal factor en la dinámica de cambio de clima a nivel global y por ende la hipótesis de la CKA se ha centrado en el hecho que a medida que los países van creciendo y desarrollándose su ingreso per cápita va aumentado también. De esta forma, los resultados de los estudios empíricos apuntan que las emisiones de GEI están estrechamente relacionados con el deterioro ambiental ya que permite que esta hipótesis se la pueda estimar con la ayuda de modelos econométricos.

En el caso de los países latinoamericanos, la hipótesis de la CKA fue abordada por primera vez por Correa, Vasco y Pérez (2005) en un estudio desarrollado específicamente para Colombia. Correa, Vasco, & Pérez (2005) estudian la teoría de la CKA por medio de series temporales utilizando tres gases de efecto invernadero: dióxido de azufre (SO2), dióxido de carbono (CO2) y demanda bioquímica de oxígeno, los autores llegaron a la conclusión que Colombia se encuentra en la fase de crecimiento de la CKA. Adicionalmente, para la variable del SO2 encontraron una relación con el indicador de GINI, mostrando que mientrás el coeficiente de GINI se acerca a 0, es decir, cuando la población sea menos desigual en términos de ingreso. Esto es porque una población con mayor ingreso tiene una conciencia ambiental mucho mayor y cuenta con mejores recursos para afrontar el deterioro del ambiente. Por el contrario en el mismo año, Saravia López (2005) llega a la concluisón que la hipótesis de la CKA no es una tesis válida para la región. El análisis realizado muestra que variables como la desigualdad en la distribución del ingreso, la naturaleza de sus instituciones y la capacidad de gobernanza son factores que afectarían que la región logre alcanzar un nivel de crecimiento que asegure un nivel de ingreso per cápita para lograr reducir el deterioro ambiental. Efectivamente, los resultados indican que la elevada desigualdad en la distribución del ingreso, la ineficiencia de las instituciones, la inestabilidad política y social, disminuyen la capacidad del crecimiento económico para alcanzar el mejoramiento de la calidad ambiental a diferencia de los países desarrollados en donde el crecimiento trae consigo desarrollo tecnológico y a la vez humano a diferencia de los países de América Latina.

Más adelante en el año 2011, Mariana Zilio realiza un estudio denominado La curva de Kuznets ambiental: evidencia para América Latina y el Caribe en donde busca comprobar la hipótesis de la CKA para todos los países de la región por medio de los datos de panel. Zilio (2011) indica que esta hipotesis solo se la pudo comprobar para 3 paises en concreto de la región (Argentina, Brasil, Panamá y Trinidad y Tobago) rechazó la conclusión que Correa había hallado para Colombia. La autora afirma que América Latina a pesar de contar con un incipiente crecimiento económico, en el mediano plazo le resultaría muy difícil disminuir sus emisiones de CO2, tomando en cuenta qué, el factor que determinan el cambio de pendiente de la curva únicamente es un nivel de ingreso muy alto y según la autora, esta realidad es muy difícil de conseguir según las características de la región, conclusiones simialres a las que llegó Saravia López en el 2005. Esto implica que si se considera prioritario detener o atenuar los impactos del cambio climático en la región, deben implementarse medidas de mitigación orientadas a reducir los niveles de emisiones, y no considerar al crecimiento económico como sustituto de la política ambiental (Zilio, 2011).

Para el año 2019, los autores Luis Sánchez y Karina Caballero presentan un estudio enfocado en la comprobación de la CKA para los países de América Latina y el Caribe pero con un enfoque principal sobre el cambio climático. Los resultados presentados afirman la hipótesis de la CKA en América Latina y el Caribe y por medio de la técnica econométrica de datos de panel sustentan que la actividad económica humana está teniendo repercusiones sobre el cambio climático. En el estudio se revela que la región es la responsable de producir cerca del 10% de las emisiones mundiales de CO2, y que esta tendencia sigue al alza, lo que siguiría empeorando los escenarios globales del incremento de 1 a 4 grados centígrados de la temperatura de la superficie global del planeta Tierra (Sánchez & Caballero, 2019). Adicionalmente los autores encuentran qué, el ingreso per cápita debe alcanzar los $10.134 para lograr controlar las emisiones de GEI y con ello alcanzar un proceso productivo bajo en carbono.

El estudio mas reciente lo realizaron Ortiz y Gómez (2021) en donde realizan un estudio para América Latina para corroborar la hipotesis de la CKA desde 1970 hasta el 2016. A diferencia de Saravia López (2015) y Zilio (2011) los autores confirman la hipótesis de la CKA, aludiendo que en las primeras etapas del desarrollo económico, aumentan las emisiones CO2 y la actividad económica hasta alcanzar cierto nivel de ingreso, después de este punto las emisiones tienden a crecer a un menor ritmo que la actividad económica, manteniendo la forma de U invertida en la relación entre estas dos variables. Los resultados evidencian la relación de PIB per cápita y el CO2, de manera que se puede verificar que la relación entre la actividad económica y las emisiones de GEI, validan la hipótesis de la CKA para los 19 países de América Latina.

La mayor parte de investigaciones han optado por trabajar con el CO2 al ser uno de los gases de efecto invernadero más común y abundante en todo el planeta Tierra. Es un gas contaminante presente en varias actividades cotidianas y económicas que está generando una fuerte repercusión en cada uno de los procesos naturales que agravan fuertemente la capacidad de luchar contra el cambio climático. Si bien es cierto, Sudamérica muestra bajas emisiones de CO2, pero preocupan los costos futuros asociados a su crecimiento económico, basado en el aumento de sus exportaciones de materias primas (Quenan y Velut, 2014).

Tomando en consideración los aspectos teóricos y empíricos revisados en esta sección, la comprensión metodológica en el siguiente apartado permitirá profundizar la teoría de la CKA al evidenciar el modelo econométrico desarrollado lo cual facilitará el análisis en la construcción del modelo de estainvestigación.

Metodología

Considerando las limitaciones y críticas que tiene la CKA, el enfoque de esta hipótesis en los últimos años ha venido siendo orientado en entender cómo el impacto del crecimiento económico recae sobre el cambio climático, al tomar en cuenta el comportamiento que tienen los GEI sobre la atmósfera. Es así como la hipótesis de la CKA se enfoca en entender que a mayor crecimiento existe un aumento de las emisiones de GEI producto de la actividad económica de los diferentes sectores siempre y cuando se llegue a un punto de inflexión que revierta este efecto, formando así la curva en forma de U invertida antes mencionada.

Las investigaciones empíricas antes mencionadas utilizaron la herramienta de la econometría para tratar de modelar las hipótesis de la CKA con las variables ambientales junto con las económicas. De manera general, se utilizan los datos de panel o los Míninos Cudrados Ordinarios (MCO) para determinar los datos para el análisis. Según Al-mulali, Tang y Ozturk (2015) el uso de datos de panel reduce la heterogeneidad y la colinealidad entre las variables porque es más confiable con estimaciones de parámetros estables. Los datos de panel están sujetos a limitaciones en la práctica como la recopilación de datos, distorsiones de los errores de medición y la dependencia de los datos de corte transversal, es decir, los datos recopilados mediante la observación de muchos sujetos al mismo tiempo. En cambio, el método del ajuste por MCO o comúnmente regresión lineal permite establecer una relación funcional entre dos variables; donde “X” representa la variable

independiente y “Y” la variable dependiente. En otras palabras, este método permite entender como una variable se comporta en función de otra variable (Hanke y Wichern, 2006).

Los modelos para las investigaciones siguientes se basaron en el modelo antes descrito en investigaciones como las de Correa (2005) en la que se realizaron regresiones similares para los GEI como el dióxido de sulfuro, dióxido de carbono, y la demanda bioquímica del oxígeno con las siguientes ecuaciones:

$$SO2 = \alpha + \beta 1_{PPP} + \beta 2_{GINI} + \beta 3_{Freedom} + \varepsilon_{it}$$

$$CO2 = \alpha + \beta 1_{PPP} + \beta 2_{GINI} + \beta 3_{Freedom} + \varepsilon_{it}$$

$$BDO = \alpha + \beta 1_{PPP} + \beta 2_{GINI} + \beta 3_{Freedom} + \varepsilon_{it}$$

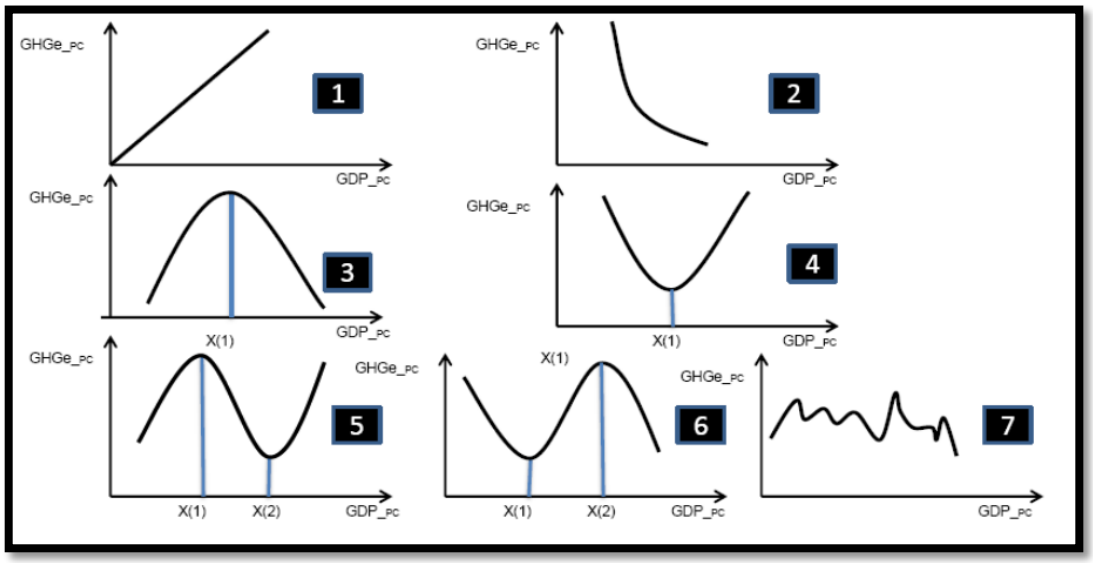
Respectivamente, las ecuaciones consideran al ingreso per cápita (PPP), el índice de GINI (GINI) y las libertades políticas (Freedom), estas últimas funcionando como variables proxy.

En el estudio empírico de Grossman y Krueger (1995) se utilizó una regresión lineal de la siguiente estructura:

$$EP_{it} = \alpha_{it} + \beta 1 Ypc_{it} + \beta 2 Ypc_{it} + \beta 3 Ypc_{it} + \beta 4 Z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde EP es el deterioro medioambiental; Ypc es el ingreso per cápita; Z determina las otras variables de influencia sobre la presión ambiental. Complementariamente, el coeficiente α recoge el promedio de presión ambiental cuando el nivel de ingresos no tiene especial relevancia. Los coeficientes β representan la importancia relativa de las variables exógenas, y la variable ε es el término de error, que se distribuye como una normal de media cero y varianza constante. El subíndice i señala el país o región, t indica el momento del tiempo. Este modelo puede determinar la forma de la CKA (gráfico 1) según los resultados que fueron analizados por Grossman & Krueger (1995):

Gráfico 1. *Patrones de la CKA*



Fuente: Grossman y Krueger (1995)

Los posibles resultados que puede tomar la CKA según Grossman y Krueger (1995) son: (1) Si β1>0, β2=β3=0, relación monótona creciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con altos niveles de emisiones. (2) Si β1<0, β2=β3=0, relación monótona decreciente, en la que altos niveles de ingreso están asociados con niveles decrecientes de emisiones. (3) Si β1>0, β2<0, β3=0, relación cuadrática en forma de U-invertida, representando la CKA e indicando que altos niveles de ingreso están asociados a niveles decrecientes de contaminación una vez que ha sido alcanzado cierto nivel de ingresos. (4) Si β1<0, β2>0, β3=0, relación cuadrática en forma de U, inversa a la CKA. (5) Si β1>0, β2<0, β3>0, polinomio cúbico, representando la forma

de N, donde se cumple la hipótesis U-invertida de CKA hasta cierto nivel, a partir del cual la contaminación vuelve a aumentar. (6) Si β1<0, β2>0, β3<0, polinomio cúbico, inverso a la forma de N. (7) Si β1=β2=β3=0, comportamiento plano, indicando que las emisiones no son influenciadas por el nivel de ingresos.

Para validar el modelo, se utiliza la metodología antes descrita para medir y conocer la hipótesis de la CKA para los países sudamericanos. Complementariamente, se analiza la dinámica entre el ingreso per cápita y las emisiones de GEI para los siguientes países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Paraguay, Uruguay y Venezuela. Para este estudio, se delimitó un período de estudio desde 1990 hasta el 2018, ya qué, se busca tener un período extenso para los análisis pertinentes, pero sobre todo conocer la dinámica que han tenido estos países antes de la firma del Acuerdo de París, en donde cada uno de los países firmantes se suscribieron a disminuir el nivel de sus emisiones y para los años siguientes analizar si el compromiso acordado se va cumpliendo o no.

Para la construcción de las ecuaciones de las regresiones, se utiliza como variable dependiente 3 gases principales de efecto invernadero que, según la teoría y la evidencia empírica, son los más comunes en los estudios realizados que corroboran la hipótesis. Estos gases son el CO2, N20 y el CH4. Las series de tiempo de estos gases fueron obtenidas de la base de datos del Banco Mundial para el período 1990 – 2018. Se utilizó esta base de datos al ser una de las más extensas en cuanto a datos de esta índole, pero también porque se buscaba tener datos del mismo origen para evitar sesgos a la hora de realizar las estimaciones respectivas. Cada serie de los gases está expresada en toneladas métricas de equivalente de CO2 para cada uno de los casos de estudio. Mientras qué, como variable independiente se utilizará el PIB per cápita como principal variable económica en este estudio.

Se utiliza también el método de estimación de Datos de Panel, en el cual permite la integración de las variables principales en las ecuaciones de las regresiones antes mencionadas, es decir, la serie de datos de GEI, el PIB per cápita y también otras series de variables exógenas como el grado de apertura comercial y el coeficiente de GINI. Para la estimación del modelo econométrico de tipo panel se utilizó la información estadística disponible en el Banco Mundial en el período comprendido entre 1990 y 2018, y considerando únicamente 11 países de América del Sur: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Paraguay, Uruguay y Venezuela. De esta manera, la ecuación estaría general del modelo econométrico estaría especificado de la siguiente manera:

$$GEI = \beta_0 + \beta_1(PIB\ per cápita) + \beta_2(PIB\ per cápita^2) + \beta_3\ (Y) + \beta_4\ (Y^2\ ) + \beta_5\ (AC) + \beta_6\ (GINI) + \varepsilon$$

Una vez corrido el modelo, se puede aplicar cualquiera de las siguientes pruebas estadísticas para corroborar los resultados de las estimaciones del modelo econométrico:

Pruebas de heterogeneidad dinámica

La heterogeneidad dinámica consiste en realizar una serie de tests estadísticos como la Dickey-Fuller aumentada que nos indica la presencia de conductas tendenciales en las series temporales. También se realiza una prueba de Chow que busca probar si los coeficientes en los modelos de regresiones en diferentes conjuntos son iguales, es decir probar si existe una ruptura estructural de los datos en algún momento y finalmente se realiza una prueba de White que permite determinar el grado de heteroscedasticidad, es decir, si existen errores no constantes a lo largo de toda la serie.

Pruebas de raíces unitarias para datos panel

La aplicación de pruebas unitarias permite comprobar la hipótesis nula en las series para comprobar su estacionariedad con el propósito de evitar problemas de tener regresiones espurias (Constantini & Martini, 2010). En otras palabras, evitar que las series estén correlacionadas, pero sin ninguna causa aparente

Pruebas de cointegración para panel heterogéneo

En este proceso de cointegración los datos de panel son analizados con el fin de encontrar relaciones a largo plazo comunes para todo el conjunto. De la misma forma está asociado a una dinámica de corto plazo en dónde cuyos efectos son heterogéneos entre los diferentes niveles del panel.

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

Este enfoque semiparamétrico permite la estimación de las relaciones de cointegración mediante la combinación de variables no estacionarias.

Pruebas de causalidad de Granger.

La prueba de causalidad de Granger emplea un conjunto de variables que son estacionarias con el objetivo de determinar si una serie de tiempo puede pronosticar el comportamiento de otra.

Para esta investigación se toma como referencia la prueba de causalidad de Granger para cada una de las series utilizadas, en la que se puede conocer la relación de causalidad directa entre las variables económicas y los GEI, es decir, si cualquiera de las variables económicas o independientes causan el aumento de emisiones de GEI. Por otra parte, se analizará la estadística descriptiva de las series de datos de las variables Ingreso per cápita, emisiones de CO2 en kilotoneladas per cápita, emisiones de CH4 en kilotoneladas per cápita y N2O en kilotoneladas per cápita. El objetivo de este ejercicio es analizar brevemente por medio de gráficos el comportamiento de las variables a través de los años para el conjunto de países de América del Sur.

Resultados y Discusión

Para el análisis de la hipótesis de la CKA en el periodo 1990 - 2018 y tomando en cuenta la muestra de 11 países, se ha realizado un análisis preliminar de las características principales y la evolución de las principales variables para este estudio. En primer lugar, se analizará la evolución de las emisiones de GEI, para los 11 países en el periodo antes mencionado. En segundo lugar, se mostrará el desempeño en el Ingreso per cápita y el PIB per cápitapara los 11 casos Sudamericanos y finalmente, se observarán características particulares de cada país en función del nivel de sus emisiones de GEI y el desempeño de sus indicadores económicos. Este análisis de estadística descriptiva permitirá tener un entendimiento previo al desarrollo del modelo econométrico.

INGRESO PER CÁPITA (USD)

La evolución del ingreso per cápita para los países sdamericanos muestra características bastante similares en cuanto a su evolución desde el año 1990, se evidencia un claro aumento para la mayoría de los casos. Para los 11 países se realizó una variación simple con los valores finales e iniciales de esta variable entre el 2018 y 1990 con el objetivo de analizar el nivel de cambio que ha sufrido el ingreso per cápita en los últimos 30 años. El ingreso per cápita depende de la variación de la población total y la cantidad final del ingreso nacional que haya generado dicho país.

Tabla 1: *Ingreso per cápita (USD)*

PAÍS	1990	2018	VAR
Argentina	3690,90533	9676,81111	162%
Bolivia	601,06606	2936,9545	389%
Brasil	2727,70693	7850,80355	188%
Chile	1860,31738	12221,5691	557%
Colombia	1142,9744	5501,39005	381%
Ecuador	1117,55035	4811,20979	331%

Guyana	375,796474	5835,44492	1453%
Perú	961,430318	5729,32018	496%
Paraguay	1142,9744	5272,64777	361%
Uruguay	2636,75428	14308,1163	443%
Venezuela	2050,44401	4811,20979	135%

Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Llama la atención el caso de Guyana que muestra una variación altamente significativa, lo que indicaría que la actividad económica de ese país tuvo un aumento muy notorio pero que también. En el caso de Brasil y Argentina las variaciones del ingreso per cápita muestran una mejoría en relación con el primer año de estudio.

PIB PER CÁPITA (USD)

Para este indicador económico se realizó un análisis similar al del Ingreso per cápita, en donde se pudo observar el comportamiento de estas variables entre el primer y último año de estudio. Este indicador sigue el mismo patrón del ingreso per cápita en el cual se nota un aumento significativo a lo largo del periodo. Guyana nuevamente muestra una increíble variación final de su PIB per cápita entre 1990 y 2018 como se lo puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 2: *PIB per cápita (USD)*

PAÍS	1990	2018	VAR
Argentina	4333,48337	11795,1594	172%
Bolivia	709,059982	3548,59078	400%
Brasil	2622,26288	9151,38173	249%
Chile	2494,5268	15888,1444	537%
Colombia	1445,32863	6729,58333	366%
Ecuador	1489,52995	6295,93466	323%
Guyana	533,538359	6145,81928	1052%
Perú	1196,58686	6957,79341	481%
Paraguay	1376,16532	5782,78455	320%
Uruguay	2990,36713	18703,8603	525%
Venezuela	2475,38047	2269,48227	-8%

Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Las variaciones del PIB per cápita, son altamente significativas para todos los países ya que se registran en su gran mayoría incrementos superiores al 150% y en casos puntuales como el de Chile y Uruguay que sus incrementos superan el 500%. Esta tendencia de crecimiento se la ha podido notar para los 11 países de la región a excepción de Venezuela que debido a la crisis económica que ha venido sufriendo los últimos 7 años. Se debe destacar la participación de Guyana que nuevamente muestra una increíble variación final de su PIB per cápita entre 1990 y 2018.

En la siguiente sección se analizará la relación que existe en términos per cápita entre las emisiones de los tres gases, el ingreso y el PIB, este análisis se realiza con el objetivo de contrastar rápidamente la teoría que respalda la CKA, observando así que a medida que aumenta el PIB o el Ingreso per cápita también aumenta el nivel de emisiones de cada uno de los GEI

EMISIONES DE CO2 (KT)

En este análisis se evidenció que en la región Sudamericana existen tres países que tienen el mayor porcentaje de contaminación ver anexo 1. Brasil ocupa el primer puesto con un 37% de participación en emisiones totales en el año de 1990, atribuyéndose esto a las características de su industria interna en los distintos sectores que lo componen. Esta tendencia se mantiene y es creciente durante todos los años elevando este resultado al 44%

en el año 2014 y finalmente para el año 2018 se nota una reducción de 3 puntos, asumiendo que dicha reducción podría estar ligada a la firma del Acuerdo de París que se llevó a cabo en el 2015, lo que permitió también que la tendencia creciente de emisiones de CO2 en toda la región tenga una disminución a partir del año 2015. Argentina y Venezuela ocupan el segundo lugar de participación en emisiones de CO2 durante el periodo estudiado con un 19% en 1990 y para el 2018 con una ligera reducción en el caso argentino de 2 puntos porcentuales mientras que Venezuela tuvo una reducción más significativa de 6 puntos. Por otro lado, se destaca también los países menos contaminantes de toda la región que han logrado mantener una participación de emisiones totales de este gas cerca de los 0 y 2% durante todo el periodo, atribuyéndoles en este caso la etiqueta de países menos contaminantes. Estos países son: Bolivia, Guyana, Paraguay y Uruguay. Finalmente, en este análisis de emisiones de CO2 se observó que la región tuvo un aumento significativo de 119% de nivel de crecimiento de emisiones de este gas entre 1990 y 2014, es decir, que la región duplicó el nivel de emisiones de CO2 que mantenía en 1990, probablemente por el aumento de la industria, el parque automotor y el aumento demográfico. Sin embargo, entre el año 2014 y 2018 existe una reducción de 10% en las emisiones totales, siendo el 2014 el único punto de inflexión en la reducción de la emisión de este gas.

EMISIONES DE CH4 (KT EQUIVALENTES A CO2)

Para el caso de las emisiones de CH4 (anexo 2), Brasil ocupa el primer lugar en participación en emisiones totales en el año de 1990 con un 47%, manteniendo su tendencia relativamente igual durante todo el periodo con un ligero aumento de 3 puntos porcentuales en el año 2014 y con una reducción de 1% para el año 2018. Argentina ocupa el segundo lugar con un 18% de participación en el primer año (1990) y con una disminución de 3% para el año 2014. Venezuela ocuparía el tercer lugar en la participación de emisiones totales, pero, a diferencia del CO2, este país tiene una relativa participación menor en la emisión de este GEI. Se destaca el rol de Bolivia, Chile y Guyana al ser los países con menor participación de emisiones con un promedio de 2% mantenido durante todo el periodo. A diferencia del CO2, el comportamiento de las emisiones totales de CH4 no tienen un punto de inflexión sino mas bien una tendencia creciente pero que se sostiene en variaciones de no más de 3%. La variación entre el año 1990 y 2014 fue de 30% mientras que entre 2014 y 2018 la variación fue de 1%, es decir que, si bien es cierto la tendencia es creciente, la variación entre año y año es mucho menor actualmente que en los primeros 10 años de este análisis.

EMISIONES DE N2O (KT EQUIVALENTES A CO2)

En el caso del N2O, la tendencia de emisiones en toda la región se mantiene creciente al igual que el CH4 (ver anexo 3), sin existir ningún tipo de punto de inflexión en el cual se evidencia una reducción significativa como el CO2. Nuevamente Brasil y Argentina ocupan el primer y segundo lugar respectivamente. Brasil representa el 50% de emisiones totales en 1990, aumentando este porcentaje a 58% en el año 2014. Se destaca la participación de Colombia como el tercer país más contaminante de este gas manteniendo un promedio de 7% entre 1990 y 2018. Cabe recalcar que en el caso del óxido nitroso los países que menos lo emiten son: Bolivia, Chile, Ecuador, Guyana y Uruguay con una participación en las emisiones cercana a 2,5% en cada país aproximadamente durante todo el periodo. De manera general, se podría decir que Guyana y Uruguay son los países con menor participación en las emisiones de GEI, lo cual es favorable para la región al indicar que la emisión de estos gases puedan tener aumentos significativos, que pongan aún más el riesgo al medioambiente.

Una vez analizado la tendncia de las variables económicas y ambientales en este caso los GEI a nivel regional, se hará un análisis indiviudual por cada país con el propósito de entender las diferencias que tienen cada uno de los países en términos de emisiones. Cabe recalcar, que a pesar de estar en una región con características homogéneas en términos geográficos, existen diferencias estructurales e industriales dentro de cada país, lo que hace determina que el nivel de emisiones e incluso el tipo de gas tenga un comportamiento diferente en

cada país. Para ello se ha realizado un breve estudio individual con sus respectivas gráficas de tendecia por gas y variable económica para cada uno de los 11 paises de América del Sur (ver anexo del 6 al 16).

ARGENTINA

En el caso argentino, un nivel de emisión de CO2 es mayor al CH4 y al N2O y mantiene una tendencia al alza, un nivel de emisión de CH4 mayor al N2O muestra una tendencia decreciente a lo largo del periodo y una tendencia bastante lineal para el N2O el cuál está muy por debajo del nivel de emisiones de los otros dos gases pero que también representa un impacto ambiental si se lo emite constantemente. En cuanto a las variables económicas tanto el PIB como el Ingreso per cápita siguen la misma trayectoria de crecimiento y una correlación cercana a 1 al momento de analizar el ingreso y el PIB con las emisiones de CO2 lo que indicaría que la actividad industrial, económica y humana están altamente correlacionadas con el nivel de emisiones de gases.

BOLIVIA

Para Bolivia, siendo un país poco contaminante se observa que las emisiones de CH4 son mucho mayores a las de CO2, siendo este el gas más emitido por Bolivia en todo el periodo estudiado, el N2O muestra de igual manera una tendencia bastante lineal menor que las emisiones de CO2 siendo este gas el menos emitido para el caso boliviano. Al incorporar las variables económicas al análisis se muestra que el crecimiento tanto del PIB como el Ingreso per cápita tiene una alta correlación con las emisiones de CO2, lo que indicaría que a medida que el país crece en términos económicos aumenta también las emisiones de sus gases, pero a una cuantía menor que los otros países.

BRASIL

Brasil en los estudios anteriores mostró ser el país más contaminante de toda la región, al ser el responsable de la emisión de casi la mitad de los gases totales del continente. Se debe recordar que la industria brasileña es una de las más importantes a nivel regional y que el tamaño poblacional es relativamente mayor a la de los otros países. En este caso, se puede observar que las emisiones de CH4 son mucho mayores a las emisiones de CO2 hasta el 2010, en donde la tendencia comienza a revertirse ubicando al CO2 por encima de las emisiones de CH4 y nuevamente las emisiones de N2O para este caso son mucho menores a las de los dos gases antes mencionados. Una vez incorporadas las variables económicas se evidencia la relación que tiene el aumento del Ingreso y PIB per cápita frente a las emisiones de CO2 mostrando una correlación frente a la emisión de los otros gases, entendiendo que esta variable ambiental aumenta cada vez que el PIB o el Ingreso crecen por las diferentes actividades humanas.

CHILE

En el caso chileno, se muestra una mayor emisión de CO2 con respecto a la emisión de N2O y CH4 manteniendo una tendencia al alza. La emisión de CO2 de manera general representaría la principal emisión de gases de efecto invernadero ya que las emisiones de N2O y CH4 son relativamente pequeños. Se muestra una correlación cercana a 1 frente a las variables económicas del PIB y del Ingreso per cápita con lo cual fácilmente se puede inferir que el aumento de la actividad económica estaría vinculado con el aumento de las emisiones de gases, pero únicamente con el CO2 ya que los otros gases no presentan una correlación suficientemente alta para llegar a dicha conclusión. En términos de la CKA se podría decir que el crecimiento económico si se relaciona con un mayor impacto ambiental a medida que el país va creciendo, pero no para todos los tipos de contaminantes pues en el caso chileno únicamente el CO2 es significativamente representativo.

COLOMBIA

Colombia presenta una particularidad diferente a los otros países pues la tendencia de las emisiones de CO_2 y CH_4 mantienen el mismo comportamiento durante el periodo analizado. Estos dos gases representan las principales emisiones para el caso colombiano pues el óxido nitroso está muy por debajo del promedio. Al vincular las variables económicas se observa que a medida que el Ingreso y PIB per cápita han ido aumentando, las emisiones de CO_2 y CH_4 han seguido la misma trayectoria desde 1990 con leves variaciones e incluso en ciertos periodos existen reducciones en las emisiones de estos gases, desvinculando la posible hipótesis de la CKA para este caso específicamente ya que a diferencia de los otros países existe una baja correlación entre las variables económicas con las emisiones de gases, lo que nos indicaría que las emisiones de GEI no están correlacionadas al crecimiento económico colombiano.

ECUADOR

En el análisis realizado para el caso ecuatoriano se puede observar que al igual que en la mayoría de los países Sudamericanos el CO_2 representa el principal gas de efecto invernadero durante el periodo analizado. En el caso del CH_4 y N_2O su participación es relativamente menor y se ha venido manteniendo una tendencia lineal para todo el periodo, incluso con reducciones en los últimos 10 años para el CH_4. Una vez realizada la correlación entre las variables económicas y las emisiones de CO_2, se muestra una correlación de 0,9 lo que indicaría que el aumento de la actividad económica explicaría el incremento de las emisiones de este gas durante el periodo, en este sentido la hipótesis de la CKA de manera general podría cumplirse también para el caso ecuatoriano.

GUYANA

En los análisis anteriores se demostró que Guyana es el país con la menor participación de emisiones de gases de efecto invernadero en toda la región con alrededor de 1% de participación en las emisiones totales durante todo el periodo analizado. Las emisiones de Guyana muestran una particularidad y es que los tres gases mantienen una evolución y tendencia bastante similar durante los 29 años de estudio. A diferencia de los otros países el N_2O tiene una tendencia al alza y no lineal como la mayoría de los países Sudamericanos, sin embargo, el nivel de emisiones per cápita son bastante inferiores a la mayoría sobre todo en el CO_2. Al realizar el análisis de correlación se tiene un resultado que oscila los 0.4 y 0.6 para los tres gases, indicando que el resultado de correlación podría estar vinculado al crecimiento económico, pero por otro lado no se podría atribuir del todo a esta premisa, tomando en cuenta que los resultados son bajos para defender esta conclusión.

PARAGUAY

Paraguay en los estudios anteriores, resultó ser uno de los países menos contaminantes, con unas emisiones poco significativas a nivel regional. En el estudio realizado a nivel regional se muestra una particularidad en cuanto a las emisiones de CO_2, siendo este gas el que tiene menor presencia en este país. El CH_4 por otro lado, representa el principal gas que emite este país seguido por el óxido nitroso con una tendencia al alza, pero no en gran medida. Al vincular las variables económicas a la prueba de correlación se muestra que el único gas que está correlacionado con el crecimiento económico es el metano con un 0.7 en esta prueba. Mientras que los otros gases sobre todo el dióxido de carbono está inferiormente correlacionado con el crecimiento. En el caso de Paraguay el CH_4 es el único gas que cumpliría con la hipótesis de la CKA en donde el crecimiento económico si se relaciona con un mayor impacto ambiental a medida que el país va creciendo.

PERÚ

En el caso peruano, nuevamente se puede observar un comportamiento similar de las emisiones de GEI a lo largo del periodo analizado. Esto quiere decir que el CO2 es el principal gas que emite el país con una tendencia al alza, seguido del CH4 con una tendencia un poco lineal y finalmente un N2O muy por debajo del promedio de emisiones. Al tener estas características, los resultados al momento de vincular el PIB y el Ingreso per cápita muestra una correlación únicamente con el CO2, lo que indicaría que el crecimiento económico estaría reflejado con un aumento en las emisiones generales de dióxido de carbono, mientras que los otros gases no están correlacionados, mostrando nuevamente que la hipótesis de la CKA podría cumplirse en el caso peruano, pero únicamente con el CO2.

URUGUAY

Uruguay al igual que Guyana y Bolivia, este país presentó un bajo nivel de emisiones regionales asumiendo que sería uno de los países menos contaminantes. De hecho, Uruguay presenta uno de los niveles más bajos de emisiones de CO2 siendo superado por el CH4 y el N2O como los principales que emite esta nación. Al momento de realizar los análisis de correlación se puede observar que a pesar de que el CO2 tenga una baja participación en términos de emisiones, este presenta una correlación cercana a 0.8 al momento de compararlo con el Ingreso y el PIB per cápita. El metano a pesar de ser el principal gas que emite Uruguay tiene una baja correlación, lo que indicaría que precisamente el metano no se ha vinculado con el crecimiento económico durante todo el periodo 1990 – 2018, pero el CO2 al tener una correlación alta podría aumentar en años futuros, pero a tasas moderadas.

VENEZUELA

Finalmente, el caso venezolano muestra una mayor participación del CO2 en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero con una tendencia medianamente al alza y que ha sido fluctuante durante todo el periodo. Para el caso del metano CH4 y el óxido nitroso N2O el comportamiento en la serie de tiempo es similar a la mayoría de los países Sudamericanos, tendencia a la baja y lineal respectivamente. En las pruebas de correlación para cada uno de los gases, no se encontró correlación alta para ningún gas, es decir, el crecimiento económico estaría poco vinculado con el deterioro ambiental y por ende en la hipótesis de la CKA podría no cumplirse para el caso venezolano.

A nivel general, se puede observar que el CO2 es el principal gas que emiten los países Sudamericanos y que en algunos de los casos revisados anteriormente se encuentra que el CO2 está correlacionado con el crecimiento económico de los países. El CH4 por otro lado, representaría el segundo gas más emitido a nivel regional y en ciertos casos este gas representa el principal emitido por los países y también en la minoría su correlación con el crecimiento económico es comprobado. Por último, el N2O en todos los países estudiados es el de menor participación y en ninguno de los casos está correlacionado con el crecimiento económico, mostrando que específicamente para este gas la hipótesis de la CKA no podría cumplirse.

Los resultados del modelo de datos panel ajustado para el PIB per cápita y el Ingreso per cápita en dos modelos muestran un alto nivel de significancia para cada uno de los países combinado para los tres gases de efecto invernadero (CO2, CH4 y N2O). Estos resultados indicarían la comprobación la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental para la región de Sudamérica, entendiendo que a medido que ha avanzado el crecimiento económico visto por el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, los resultados de este proceso han podido verse reflejados con un aumento de la degradación de la calidad del medio ambiente. A pesar de no tener una estimación específica sobre cuál sería el turning point (punto de inflexión) en la curva de este modelo para conocer el valor requerido de ingreso per cápita para conocer en qué momento la curva tendería a decrecer, se puede evidenciar que la mayoría de países Sudamericanos se encuentran en un proceso creciente de su

economía el cual según las características de la región está basado en la explotación de recursos naturales para la venta de materias primas y para la obtención de energías requeridas para abastecer las necesidades de la población.

El modelo ajustado para el Ingreso y el PIB per cápita, según los resultados obtenidos de las estimaciones de los datos de panel estarían demostrando que las variables dependientes en este caso las emisiones de gases de efecto invernadero se ajustan perfectamente a los modelos en los cuales las variables económicas independientes estarían mostrando una alta correlación en la dinámica de este modelo con un valor de R^2 de 0.997 en la estimación general en el caso del dióxido de carbono, mientas que para el caso del metano y óxido nitroso el estadístico R^2 arroja una correlación de 1, es decir, la emisión de estos gases estaría perfectamente asociado y causado por el crecimiento económico proveniente de las actividades económicas que se generan día a día en la región. Cabe recalcar que no todos los países tienen la misma magnitud de emisión ya que la estructura industrial de los países Sudamericanos varía. Por ejemplo, Brasil es el principal emisor de gases en toda la región ya que únicamente este país es el responsable de la emisión de cerca del 55% emisión de estos tres gases durante el periodo analizado. Además, estos resultados mostrarían que si bien es cierto la región se ajusta a los postulados de la hipótesis de la CKA, no todos los países se los podría encasillar en una situación de contaminantes extremos, pero en la mayoría de los casos se debe comprender que el deterioro de la calidad del medio ambiente sería una condición necesaria en el proceso de crecimiento económico. La tabla 3 muestra los principales resultados del modelo de Datos de Panel con la variable del PIB per cápita, la tabla 4 en cambio muestra el modelo con el Ingreso Per cápita.

Tabla 3: *Emisiones de GEI con PIB per cápita*

	Dependent variable:		
	CO2	**CH4 equivalente CO2 KT**	**N2O equivalente CO2 KT**
	(1)	**(2)**	**(3)**
PIB PER CÁPITA	0.072***	-0.004	0.006*
	(0.012)	(0.003)	(0.003)
Argentina	-6.329***	-5.788***	-6.902***
	(0.144)	(0.034)	(0.039)
Bolivia	-7.350***	-6.140***	-7.218***
	(0.132)	(0.031)	(0.036)
Brasil	-6.918***	-6.181***	-7.196***
	(0.123)	(0.029)	(0.033)
Chile	-6.576***	-7.013***	-7.904***
	(0.201)	(0.047)	(0.054)
Colombia	-7.625***	-6.377***	-7.738***
	(0.206)	(0.048)	(0.056)
Ecuador	-7.079***	-6.407***	-7.694***
	(0.121)	(0.028)	(0.033)
Guyana	-7.048***	-6.321***	-6.915***
	(0.173)	(0.040)	(0.047)
Paraguay	-8.366***	-5.435***	-6.624***
	(0.212)	(0.050)	(0.057)
Perú	-7.353***	-6.950***	-8.172***
	(0.131)	(0.031)	(0.035)
Uruguay	-7.518***	-5.010***	-6.170***
	(0.160)	(0.037)	(0.043)
Venezuela	-5.845***	-5.825***	-7.720***
	(0.132)	(0.031)	(0.036)

Observations	319	319	319
R^2	0.997	1.000	1.000
Adjusted R^2	0.997	1.000	1.000
Residual Std. Error (df = 307)	0.357	0.083	0.097
F Statistic (df = 12; 307)	8,283.855***	146,714.200***	149,416.700***
Note:			*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Tabla 4: *Emisiones de GEI con Ingreso per cápita*

	Dependent variable:		
	CO2	**CH4 equivalente CO2 en KT**	**N2O equivalente CO2 en KT**
	(1)	**(2)**	**(3)**
Ingreso per cápita	0.278***	0.012	0.028***
	(0.032)	(0.008)	(0.009)
Argentina	-8.036***	-5.933***	-7.085***
	(0.285)	(0.071)	(0.081)
Bolivia	-8.654***	-6.259***	-7.360***
	(0.232)	(0.058)	(0.066)
Brasil	-8.690***	-6.314***	-7.383***
	(0.277)	(0.069)	(0.079)
Chile	-7.885***	-7.176***	-8.055***
	(0.281)	(0.070)	(0.080)
Colombia	-8.713***	-6.533***	-7.867***
	(0.260)	(0.065)	(0.074)
Ecuador	-8.658***	-6.531***	-7.862***
	(0.254)	(0.063)	(0.072)
Guyana	-8.172***	-6.459***	-7.044***
	(0.241)	(0.060)	(0.069)
Paraguay	-9.348***	-5.591***	-6.744***
	(0.252)	(0.063)	(0.072)
Perú	-8.891***	-7.079***	-8.337***
	(0.257)	(0.064)	(0.073)
Uruguay	-9.129***	-5.160***	-6.346***
	(0.286)	(0.071)	(0.082)
Venezuela	-7.540***	-5.961***	-7.901***
	(0.275)	(0.068)	(0.078)
Observations	319	319	319
R^2	0.997	1.000	1.000
Adjusted R^2	0.997	1.000	1.000
Residual Std. Error (df = 307)	0.336	0.083	0.096
F Statistic (df = 12; 307)	9,352.008***	146,900.600***	152,509.600***
Note:			*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Tabla 5: *Emisiones de CO2 2010 - 2018*

	Dependent variable:		
	log(DIOX_CARB)	**log(DIOX_CARB)**	**log(DIOX_CARB)**
	(1)	**(1)**	**(1)**
PIB per cápita	-0.019	0.037	0.029
	(0.030)	(0.024)	(0.024)
Ingreso per cápita	0.705***	0.176	0.030
	(0.177)	(0.141)	(0.141)
GINI	-0.001	-0.007*	-0.006
	(0.005)	(0.004)	(0.004)
Apertura Comercial	0.003	0.003*	-0.001
	(0.002)	(0.002)	(0.002)
2010	-12.160***	-9.042***	-6.496***
	(1.606)	(1.277)	(1.284)
2011	-12.201***	-9.145***	-6.539***
	(1.614)	(1.283)	(1.290)
2012	-12.227***	-9.180***	-6.562***
	(1.615)	(1.284)	(1.291)
2013	-12.226***	-9.204***	-6.568***
	(1.623)	(1.291)	(1.298)
2014	-12.225***	-9.229***	-6.574***
	(1.623)	(1.291)	(1.298)
2015	-12.087***	-9.236***	-6.604***
	(1.583)	(1.259)	(1.266)
2016	-12.041***	-9.219***	-6.617***
	(1.581)	(1.257)	(1.264)
2017	-11.623***	-9.232***	-6.615***
	(1.592)	(1.266)	(1.273)
2018	-12.088***	-9.238***	-6.623***
	(1.590)	(1.265)	(1.271)
Observations	99	99	99
R^2	0.987	0.994	0.992
Adjusted R^2	0.985	0.993	0.991
Residual Std. Error (df = 86)	0.753	0.599	0.602
F Statistic (df = 13; 86)	489.957***	1,108.348***	802.825***
Note:			*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia

Prueba de Causalidad de Granger

Como estadístico de prueba se utilizó la Prueba de Causalidad de Granger, en la cual nos permite confirmar la hipótesis de la CKA. En el caso de este modelo, todos los estadísticos de prueba nos muestran que las variables de los GEI así como las variables económicas del Ingreso per cápita, PIB per cápita, coeficiente de GINI y Apertura Comercial, tienen causalidad entre sí, es decir, qué el crecimiento económico causa un aumento de

los GEI debido al dinamismo de las actividades económicas y así también el aumento de las emisiones de los gases, causarían un aumento en el crecimiento económico. De esta manera, la hipótesis de la CKA para los países sudamericanos se estaría verificando y demostrando gracias a esta prueba de causalidad aplicado al modelo de datos de panel, ya qué, al realizar el test de hipótesis nula su p-valor es mayor a 0.05 lo que indicaría que se debe rechazar la hipótesis nula la que indica que “x” no explica a “y”, es decir el crecimiento del PIB per cápita no aumentaría las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los resultados encontrados en esta investigación, muestran que tanto a nivel regional como individual la hipotesis de la CKA es evidenciada y respaldada econométricamente hablando. Investigaciones como las de Correa (2006) y Zilio (2011) respaldan la hipótesis de la CKA con algunas diferencias en los resultados finales de sus modelos como el método empleado y los tipos de gases utilizados. En el caso especifico de la investigación de Mariana Zilio, sus resultados sugieren que la hipótesis de la CKA, solo puede ser comprobada para algunos países, especificamente Brasil, Argetina y Chile que son los que mayor participación en emisiones de CO2 registran. Sin embargo, en el modelo realizado en esta investigación se utiliza dos gases adicionales que permiten contrastar la hipótesis de la CKA para otros países como: Bolivia, Guyana, Paraguay, Perú en los cuales la correlación entre CO2 y PIB per cápita era relativamente bajo para incidir en la conclusión que existe una CKA para dichos casos. En estos casos la participación del CH4 y N2O eran mucho más destacados que el CO2, tomando en cuenta que estos países no tienen las mismas condiciones y características que los países más desarrollados de esta región (Brasil, Argentina y Chile). Es por esto que se respalda la hipótesis de la CKA para el caso Sudamericano siempre y cuando el análisis vaya mucho más allá de la utilización del CO2 como único indicador de la degradación del medio ambiente en términos de GEI.

Para el caso Colombiano comparándolo con la investigación de Correa, los resultados muestran una semejanza ya que el investigador utiliza dos gases adicionales al CO2, permitiéndole tener resultados mucho más concretos en las regresiones utilizadas. En esta investigación los resultados de Colombia muestran que, si bien es cierto se comprueba la hipótesis de la CKA para el CO2, la participación de los otros dos gases (CH4, N2O) también es importante ya que su nivel de correlación como se mostró anteriormente es altamente significativo lo que sugiere que este país no cuenta únicamente con emisiones de actividades industriales sino que debido a su estructura económica y tejido productivo, los efectos de la agricultura y ganadería son notorios y se correlacionan al crecimiento económico.

En este estudio, los estimadores en los datos de panel indican una relación inversa entre emisiones de GEI con las variables económicas al igual que en la investigación de Zilio. Estos resultados muestran que, en un momento dado el crecimiento económico tendría una relación inversa con la degradación del medio ambiente, es decir, a mayor crecimiento menor degradación ambiental existirá. Mariana Zilio y Correa muestran que se debería alcanzar un ingreso per cápita cercano a los 10 mil USD para que la tendencia creciente de la curva llegue a su límite y comience a descender por lo cual es necesario comprobar relaciones inversas en los estimadores para poder afirmar la existencia de la CKA, pues si no se comprobaría esta relación, sería poco probable afirmar que en algún momento el crecimiento económico vaya a generar un efecto positivo en el medio ambiente.

Conclusiones

Una vez analizada la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental para los países Sudamericanos, se ha determinado las siguientes conclusiones para este grupo de países:

América del Sur a pesar de contar con características geográficas bastante homogéneas entre los países, existente diferencias estructurales relacionadas al tipo de producción y actividad económica que tienen los países de la región en la cual, el nivel de crecimiento y desarrollo van a ser heterogéneos lo que indicaría una primera limitación a la hora de realizar este modelo ya que no puede estandarizar las mismas condiciones de

crecimiento y contaminación para todos los países. Es por esto que, países como Brasil que tienen una potencial industria superan evidentemente las condiciones económicas e impacto ambiental de Guyana o Bolivia al momento de comparar los resultados obtenidos en las series de tiempo. Esta diferencia estructural muestra también que a pesar de mostrar una tendencia creciente en cuanto a contaminación y emisión de gases, existen países en los cuáles los niveles de industrialización son relativamente inferiores, por lo que tanto su nivel de crecimiento expresado en este caso por su nivel de emisión de gases es bajo comparado con los demás, es decir, existe una mayor presencia de la agricultura y ganadería sobre todo en los países con las economías más pequeñas en donde las emisiones de GEI son principalmente preponderantes por el CH4 y el N2O, característicos en pases altamente agrícolas.

En el período analizando, es vidente que Sudamérica se encuentra en un proceso de crecimiento económico dinámico durante casi 30 años de análisis. Sin embargo, es importante saber que no todos los países mantienen el mismo promedio de crecimiento por lo que, a pesar de mostrar a nivel regional una tendencia constante de crecimient, no todos los países mantienen el mismo dinamismo principalmente por que no todos tienen el mismo nivel de desarrollo industrial. Se deber tomar en cuenta que la mayoría de los países mantienen financiadas sus economías por medio de la exportación de materias primas lo que explica un proceso de explotación de recursos que tiene efectos sobre el medio ambiente y en que está investigación se los ha mostrado por medio de la emisión de gases de efecto invernadero. Como se mostró anteriormente en la región no todos los países tienen el mismo dinamismo económico no obstante, el nivel de emisiones se ha mantenido el alza, tomando en cuenta que no solo la industrialización es la causante de emitir gases de efecto invernadero sino que también la agricultura y la ganadería.

Dentro del estudio se encontró que a nivel regional el CO2 es el gas más emitido en Sudamérica principalmente explicado por la gran participación que tiene Brasil a al momento de emitir gases, mientras que el CH4 y el N2O comienzan a tener una participación mucho más importante en los últimos años, entendido por la modernización de los procesos y prácticas agrícolas sobretodo en el uso de fertilizantes en el suelo y hormonas en la ganadería que vuelen mucho más susceptible a la agricultura a la emisión de GEI. Según las proyecciones de los expertos estos gases podrían superar al CO2 en años futuros resultando esto en un problema mucho mayor, ya que estos gases tienen un efecto mucho más potente que el CO2 debido a su alta capacidad de efecto invernadero en la atmósfera lo que vuelve mucho más susceptible a la región sudamericana a experimentar los efectos del cambio climático. Se debe decir que, no todos los países muestran una correlación alta al momento de correr regresiones individuales entre el Ingreso y el PIB per cápita con los tres gases de efecto invernadero. En este sentido, Guyana, Bolivia, Paraguay y Uruguay son los países que reportan la menor cantidad de emisiones, mientras que Brasil, Argentina, Chile y Colombia son los países que llevan la delantera en cuanto a crecimiento y por ende en emisiones de gases de efecto invernadero, es decir, a pesar de saber que la región mantiene procesos crecimiento vinculados con el deterioro ambiental, no todos los países están directamente relacionados con este efecto dadas las diferencias estructurales antes mencionadas.

Al momento de utilizar el modelo de datos de panel como ayuda econométrica para la medición del modelo, los resultados indican que la participación de los gases de efecto invernadero relacionados con las variables económicas, estos muestran un alto nivel de correlación y además muestran una relación inversa entre ambos al igual que la investigación de Mariana Zilio en el 2015. Así, de manera general en Sudamérica se estaría cumpliendo la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental. Cabe recalcar, que la región se encuentra en un proceso creciente de esta curva, es decir, antes de alcanzar el punto de inflexión de la “U invertida”. Además, se debe entender que en este periodo el único gas que explica el deterioro ambiental es el CO2 dado su nivel de significancia medido en el modelo de datos panel. Para constrastar los resultados obtenidos en el modelo, se utilizó la prueba de causalidad de Granger en donde se pudo verificar la hipótesis obtenida. Es así como se corroboraría que la estimación de datos de panel para la hipotesis de la CKA en Sudamerica si se cumple.

Tomando en cuenta que Sudamérica se encuentra en un proceso creciente de sus emisiones dado sus características económicas, se esperaría que la región pueda alcanzar su nivel óptimo de crecimiento en los años futuros, pero esta estimación es poco predecible lo que limitaría conocer en qué momento la región podría

continuar con un proceso de reducción de emisiones tal como lo han logrado los países desarrollados. De esta forma se esperaría que la región disminuya sus emisiones no por llegar a un límite de crecimiento óptimo sino que este proceso empezaría gracias a los acuerdos internacionales y pactos ambientales entre países que limiten la actividad económica y su deterioro con el medio ambiente.

Finalmente, la hipótesis de la CKA es una aproximación bastante realista y a pesar de sus limitaciones al momento de obtener la data, nos permite conocer la situación medioambiental en la que una región puede atravesar. Es importante recordar que las investigaciones toman otras variables como contaminación del agua, contaminación del aire y deforestación para estimar sus modelos lo que permitiría que las estimaciones en este campo sean mucho más robustas en caso de hacer un estudio mucho más avanzado, abriendo la posibilidad de conseguir resultados mucho más precisos.

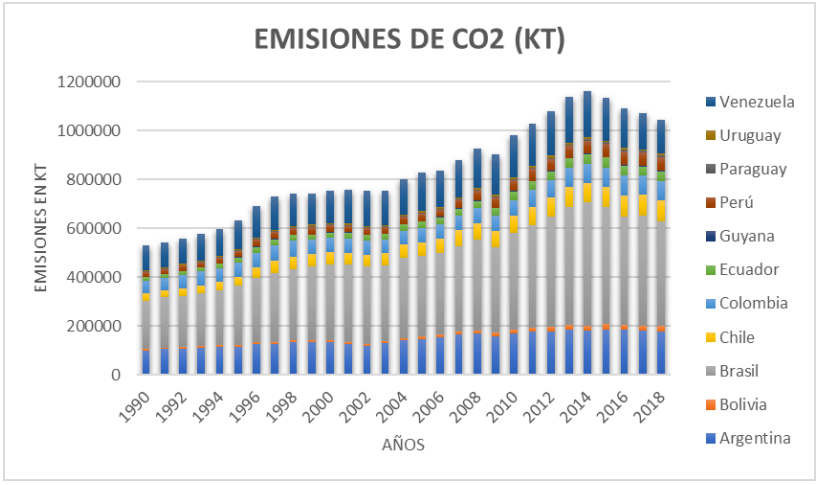
Referencias bibliográficas

- Aguilera, F., & Alcántara, V. (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica .* Barcelona: ICARIA.
- Al-Mulali, U., Tang, C. F., & Ozturk, I. (2015). Estimating the environment Kuznets curve hypothesis: evidence from Latin America and the Caribbean countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 918-924.
- Arrow, K. B. (1995). *Economic growth, carrying capacity, and the environment.* Ecological Economics 15(2), 91-95.
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O'Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental.* Madrid: McGRAW-HILL.
- Beckerman, W. (1992). *Economic Growth and the environment: whose growth? Whose environment?*
- Boada, M., & Toledo, V. (2003). *El planeta, nuestro cuerpo.* Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Borrayo López, R. (2002). Sustentabilidad y desarrollo económico (No. 338.9 B67).
- Catalán, H. (2014). *Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable.* Economía Informa, 389, 19-37.
- Chang, M. Y. (2005). La economía ambiental. *Sustentabilidad*, 165-178.
- Costantini, V., & Martini, C. (2010). The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. Energy Economics, 32(3), 591-603.
- Correa, F., Vasco, A., & Pérez, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Semestre económico*.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. Ciencia y sociedad.
- Di Pietro, S. (2017). Acuerdo de París. *Cooperativismo y Desarrollo vol 25*, 111.
- Galeotti, M. L. (2006). *Reassessing the Environmental Kuznets Curve for CO2: A robustness exercise. Ecological.*
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental Impacts of a North American Free. *NBER Working Paper*.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *Quarterly Journal of Economics Vol 110*, 353-377.
- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2005). Business forecasting. Pearson Educación.

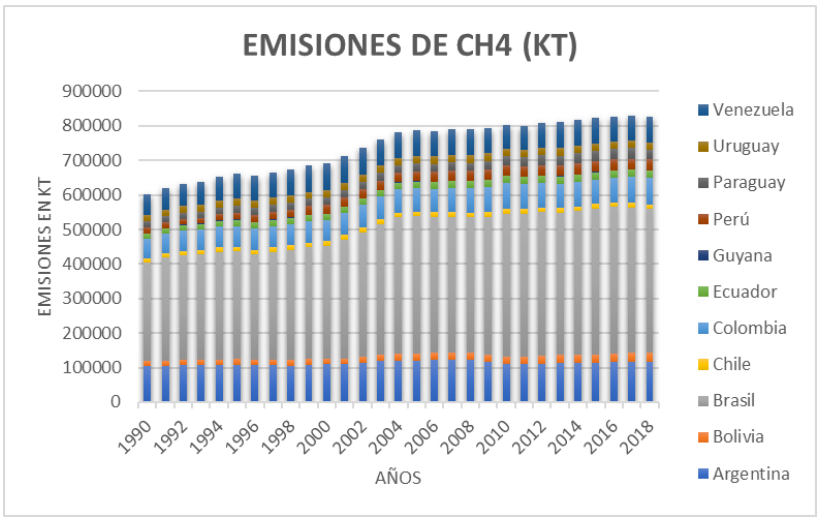
- Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2010). Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO2 in France: the role of nuclear energy. Energy policy, 38(8), 4057-4063.
- Martínez Alier, J., & Roca, J. (2000). *Economía Ecológica y Política Ambiental.* México: Fondo de Cultura Económica.
- Miller, G., 2007, Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral, 8va edición, Editores Internacional Thomson, México
- Miñón, M. (2003). Hacia una economía sostenible: interpretaciones, teorías e indicadores de desarrollo sostenible. *CIUDAD Y TERRITORIO*, 551-563.
- Moreno, M. (2010). *Génesis, evolucion y tendencias del paradigma del desarrollo sostenible.* Mexico.
- Ortiz-Paniagua, C. F., & Gómez, M. (2021). Economic Growth and Environmental Quality in Latin America, Perspective from Kuznets, 1970-2016. Economía: teoría y práctica, (55), 17-36.
- Padilla, R. V., Too, Y. C. S., Benito, R., McNaughton, R., & Stein, W. (2016). Thermodynamic feasibility of alternative supercritical CO2 Brayton cycles integrated with an ejector. Applied energy, 169, 49-62.
- Perman, R. &. (2003). *Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist.*
- Quenan, C., Velut, S., & Jourcin, E. (2014). Los desafíos del desarrollo en América Latina. Dinámicas socioeconómicas y políticas públicas. Institut des Amériques, Col. A Savoir
- Sachs, J. (2015). La era del Desarrollo Sustenible. Barcelona: DEUSTO .
- Sánchez, L., & Caballero, K. (2019). a curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático en América Latina y el Caribe: un análisis de cointegración con panel, 1980-2015. *Economía del Rosario*, 101-142.
- Saravia López, A. (2005). Evidencias de la relación medio ambiente-economía en el caso latinoamericano. *La economía mundial y América Latina. Tendencias, problemas y desafíos*, 259-280.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?. Journal of Environmental Economics and management, 27(2), 147-162.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence (Vol. 904). World Bank Publications.
- Stern, N., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky, D. Crane, S. Cruickshank, S. Dietz, N. Edmonson, S.-L. Garbett, L. Hamid, G. Hoffman, D. Ingram, B. Jones, N. Patmore, H. Radcliffe, R. Sathiyarajah, M. Stock, C. Taylor, T. Vernon, H. Wanjie, and D. Zenghelis (1998), Stern Review: The Economics of Climate Change, HM Treasury, London.
- Weil, D. (2006). *Crecimiento económico.* Madrid: PEARSON EDUCACION.
- Zilio, M. I. (2012). *Curva de Kuznets ambiental: La validez de sus fundamentos en países en desarrollo.* Cuadernos de economía, 35(97), 43-54.

Anexos

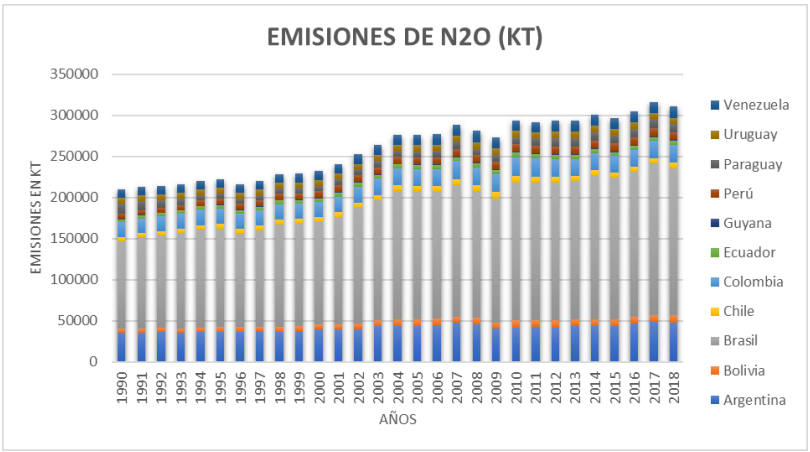
Anexo 1: Emisiones de CO2 en KT. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



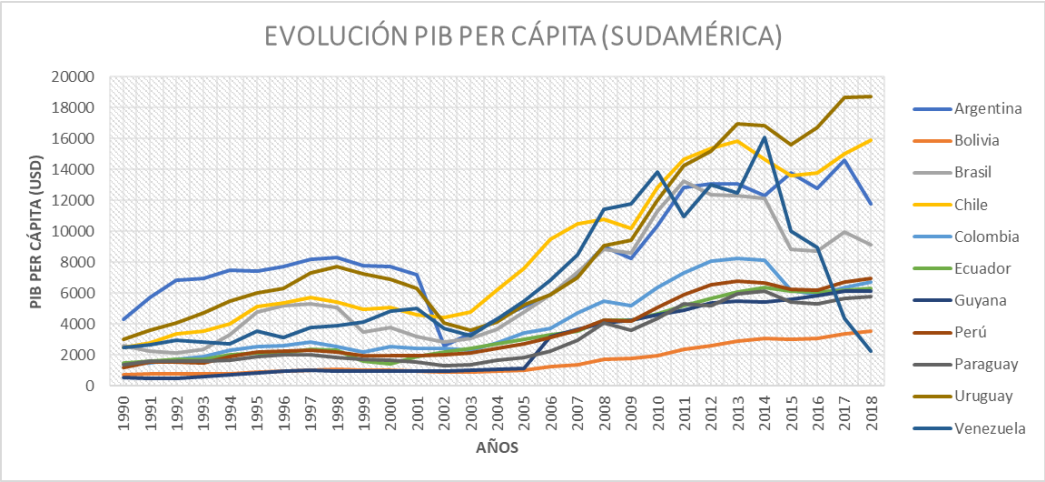
Anexo 2: Emisiones de CH4 en KT. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



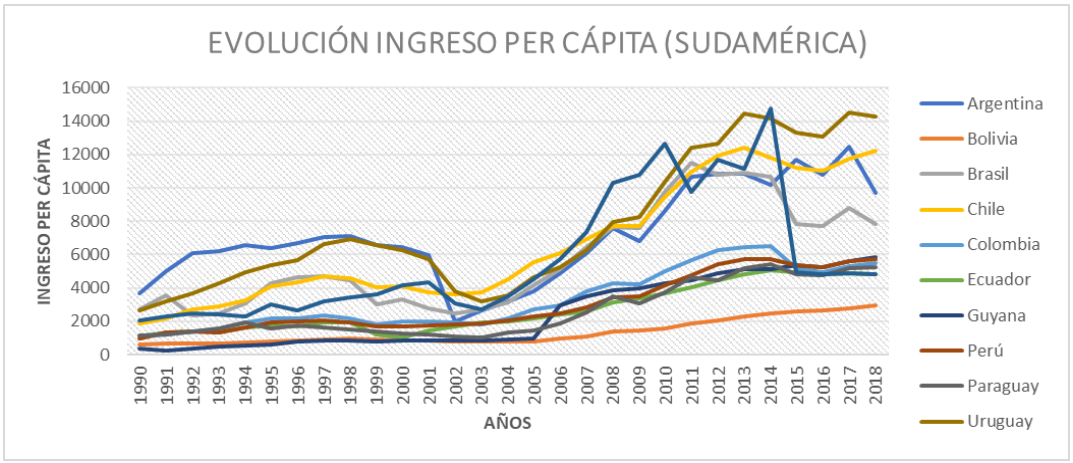
Anexo 3: Emisiones de N2O en KT. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



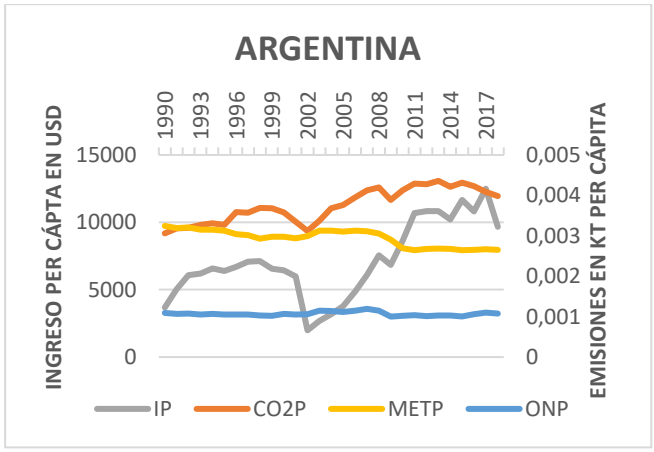
Anexo 4: Evolución del PIB per cápita en la región Sudamericana. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

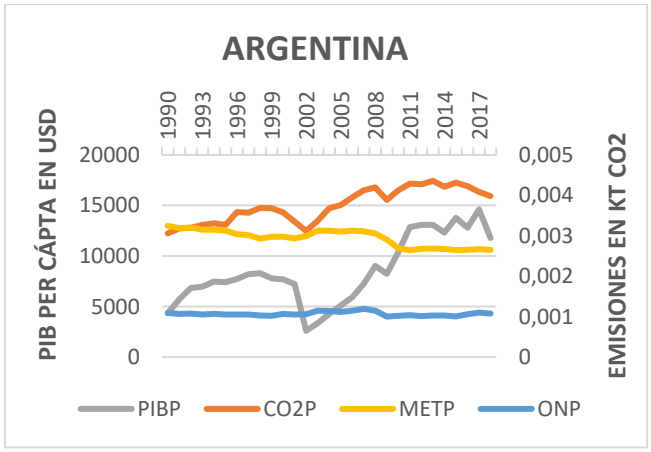


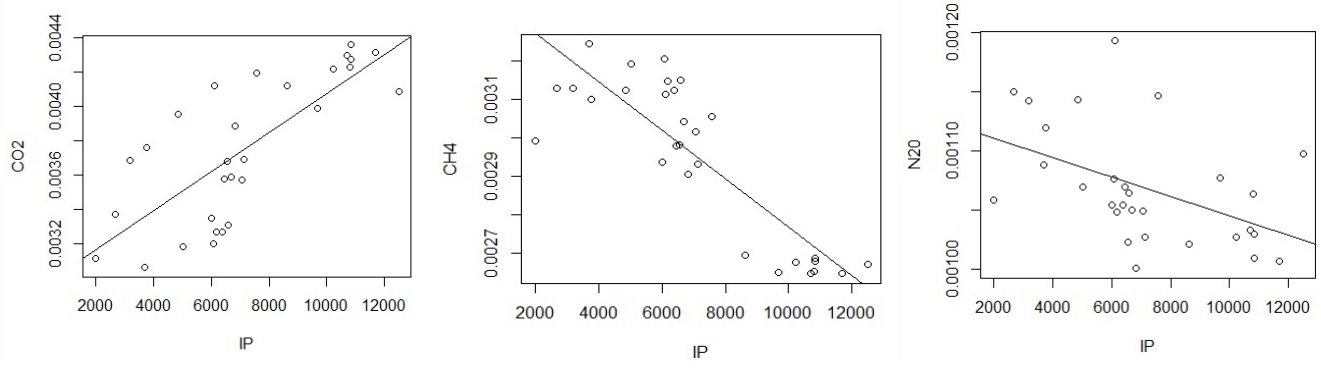
Anexo 5: Evolución del Ingreso per cápita en la región Sudamericana. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



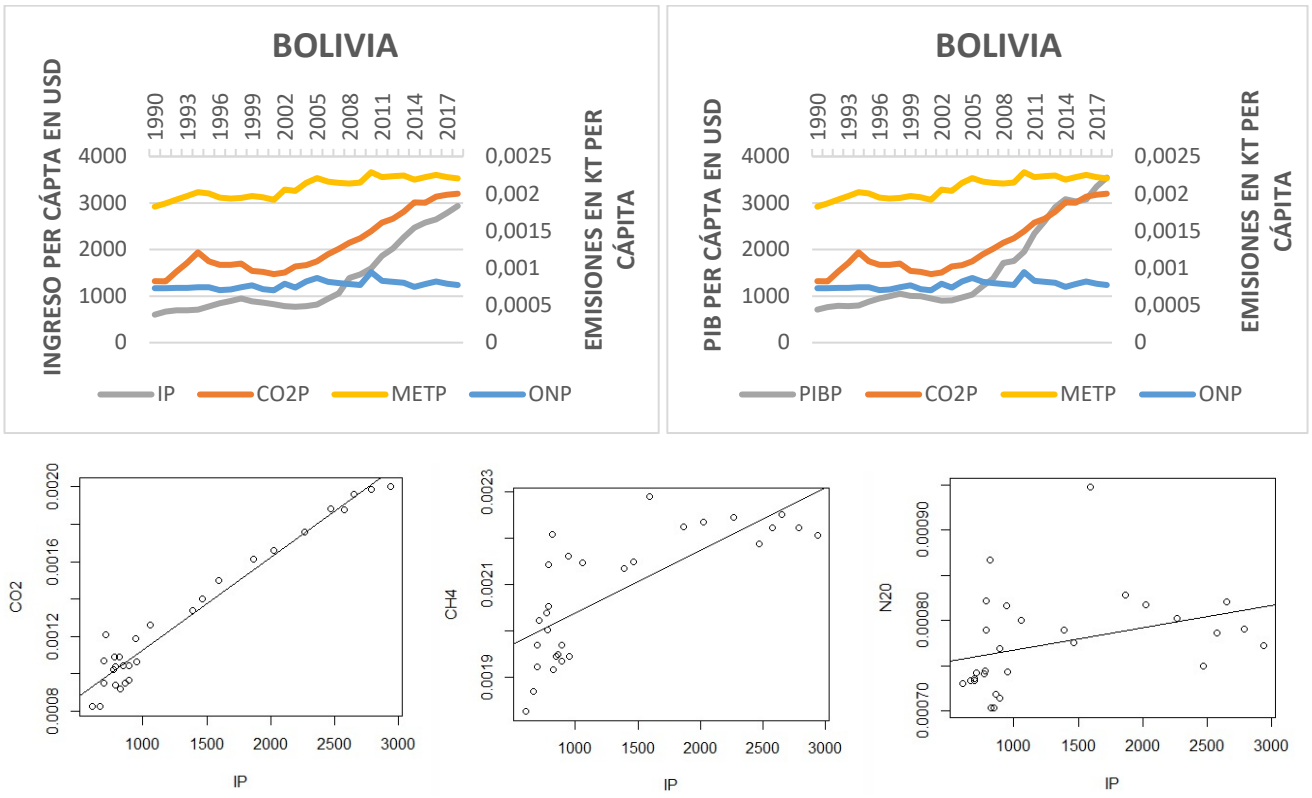
Anexo 6: Evolución de emisiones de GEI en Argentina. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



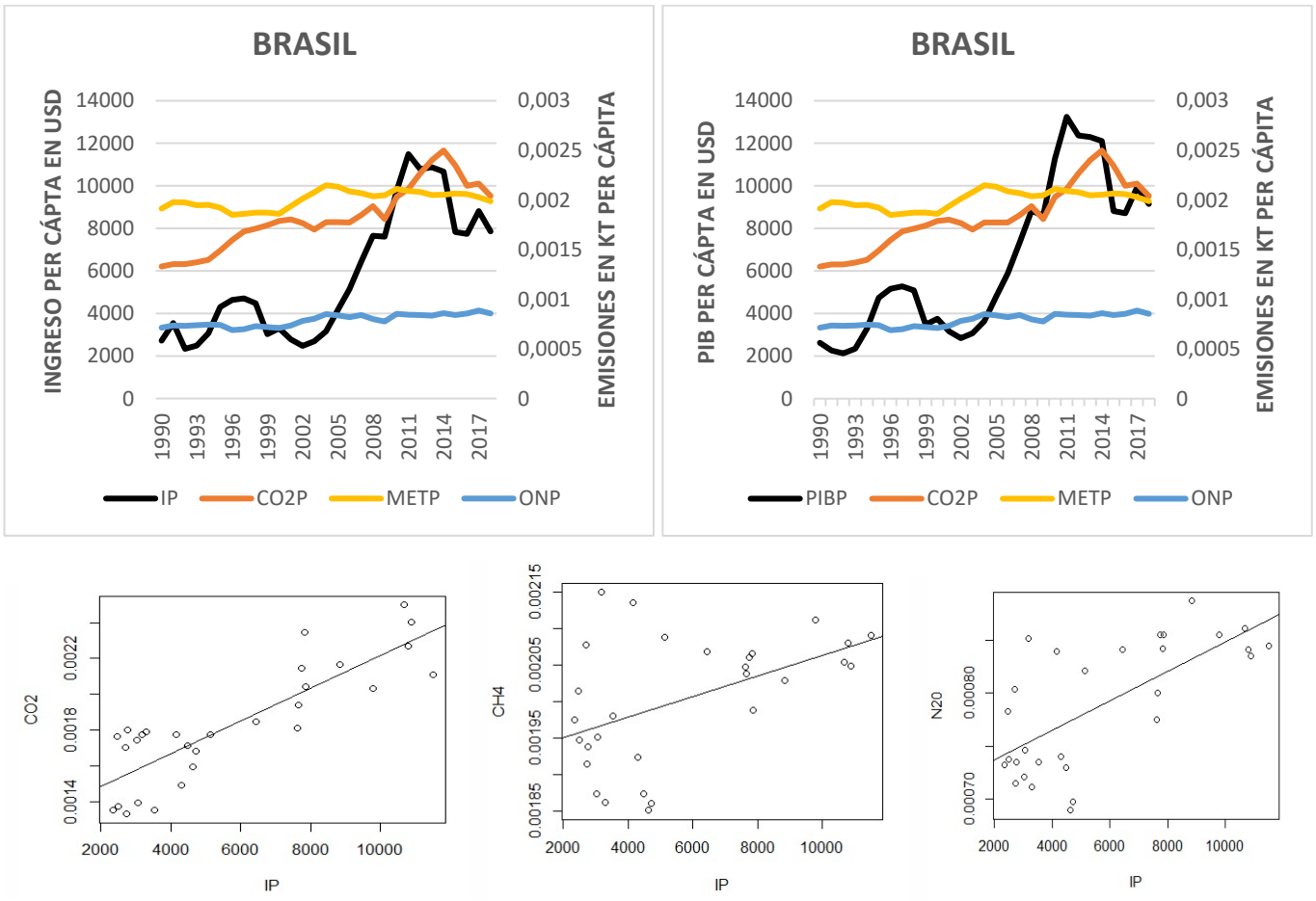




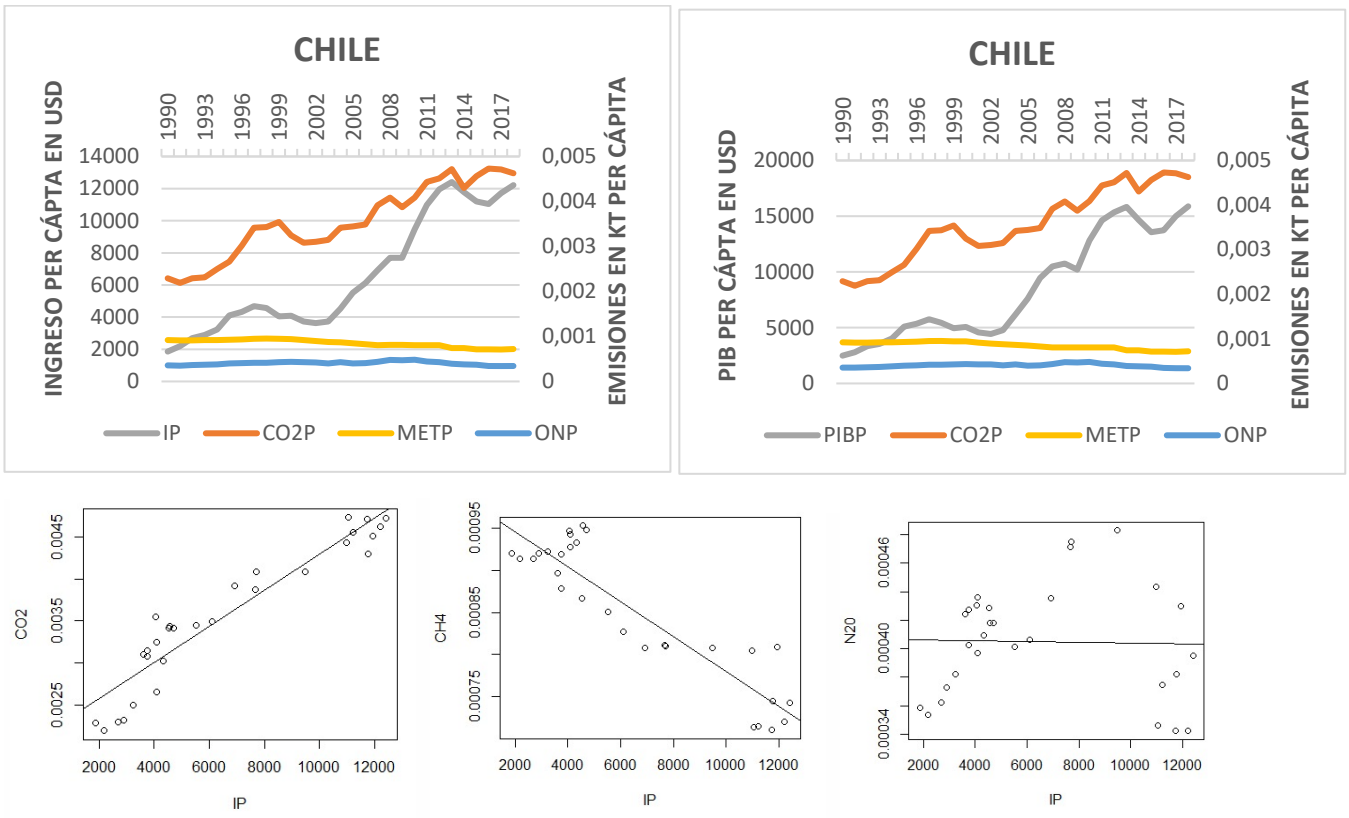
Anexo 7: Evolución de emisiones de GEI en Bolivia. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



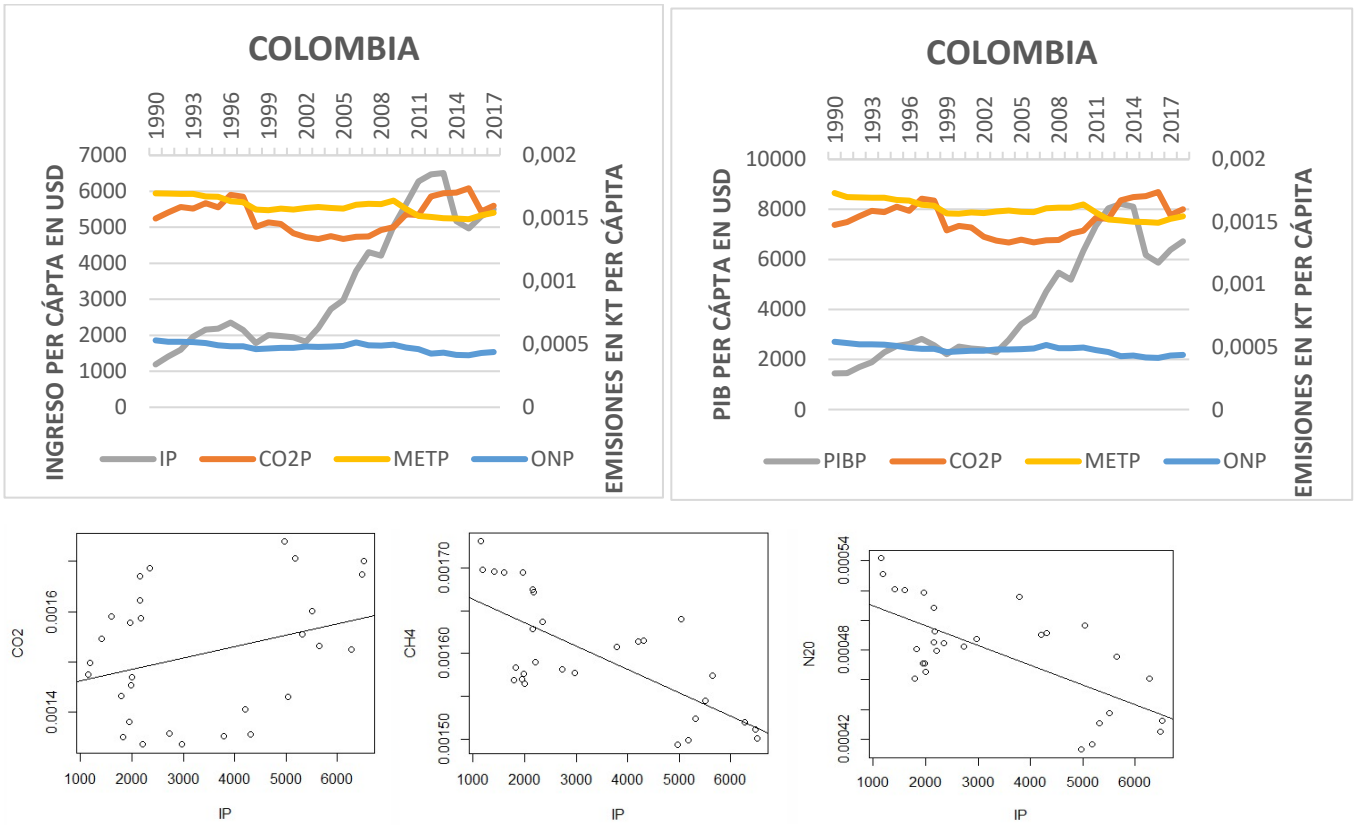
Anexo 8: Evolución de emisiones de GEI en Brasil. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



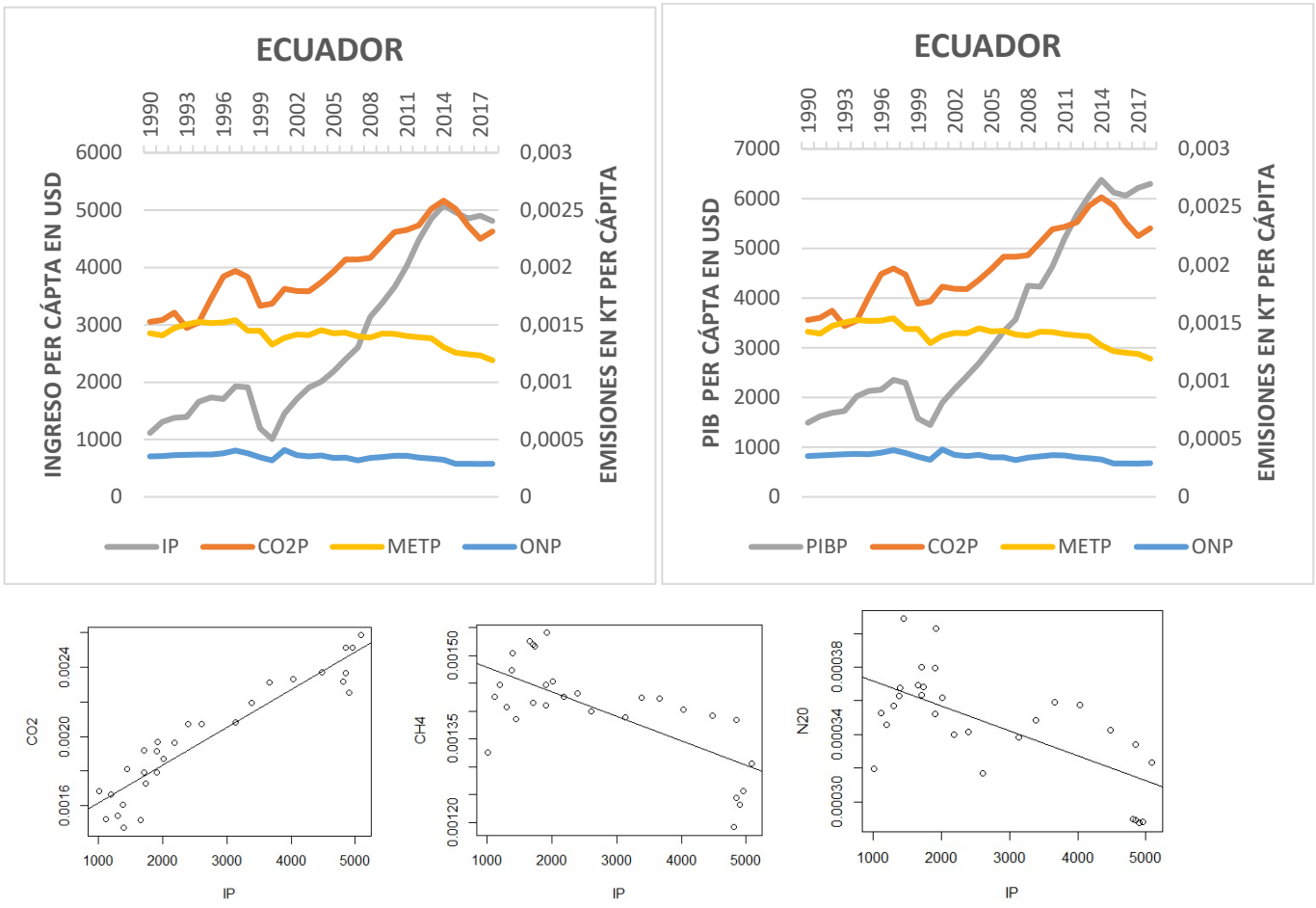
Anexo 9: Evolución de emisiones de GEI en Chile. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



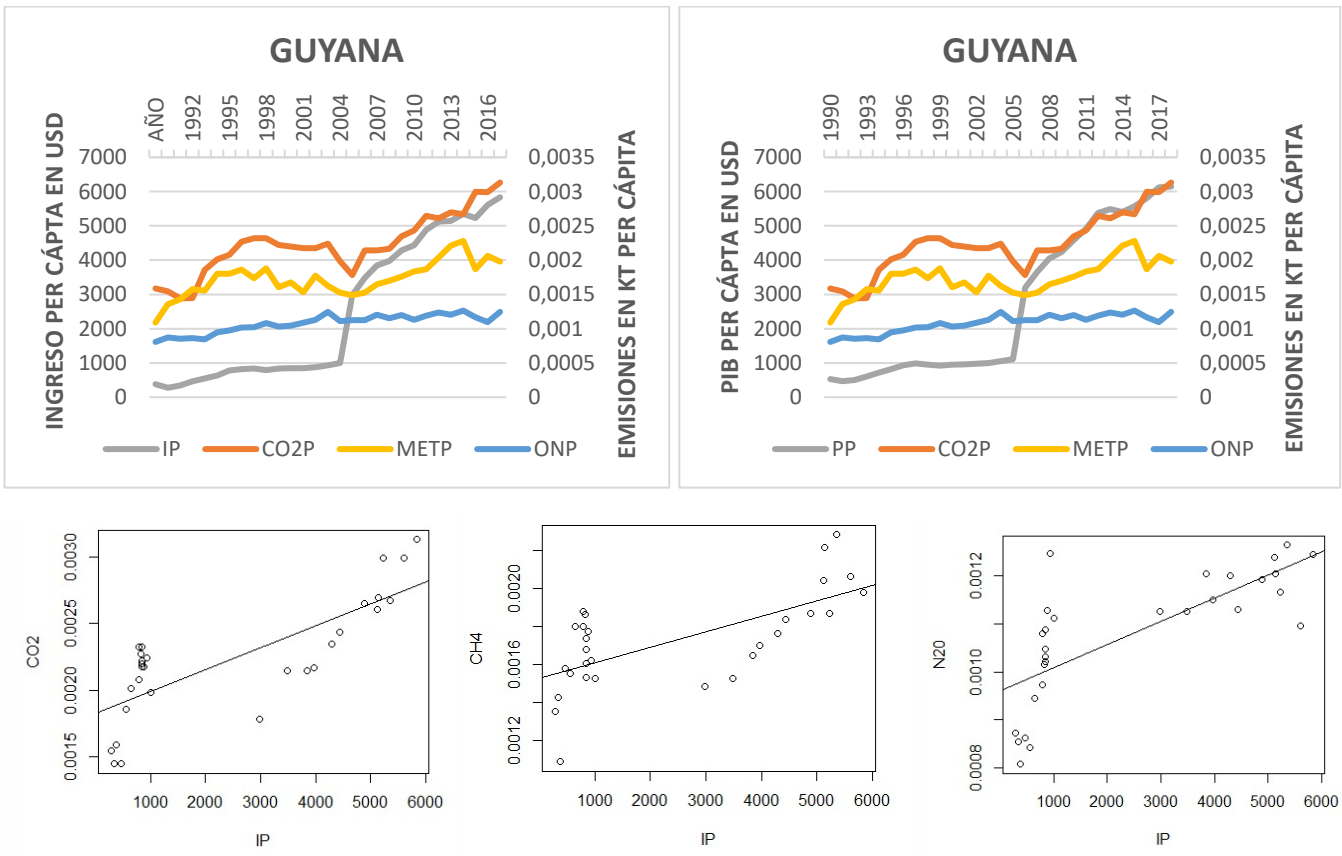
Anexo 10: Evolución de emisiones de GEI en Colombia. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



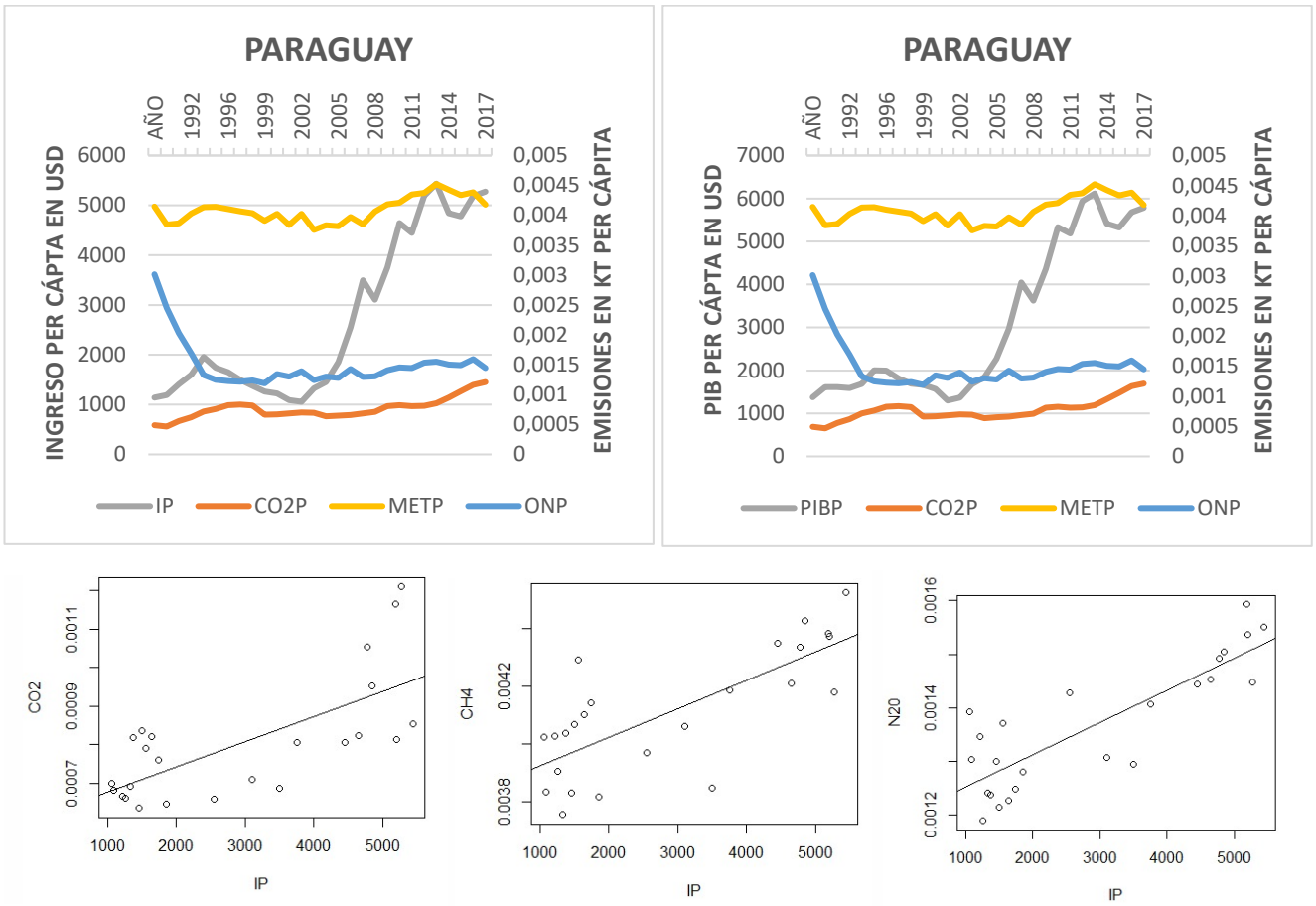
Anexo 11: Evolución de emisiones de GEI en Ecuador. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



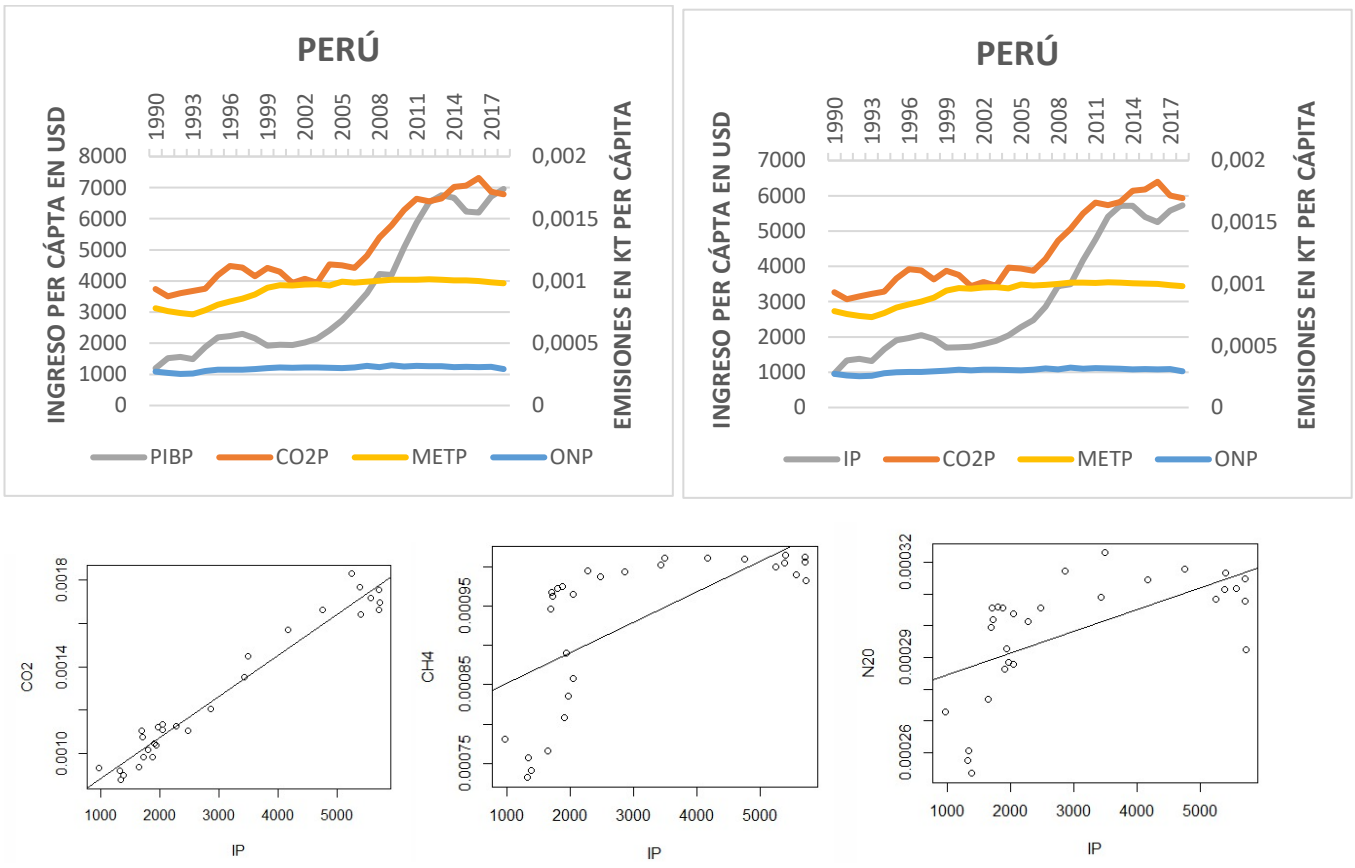
Anexo 12: Evolución de emisiones de GEI en Guyana. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



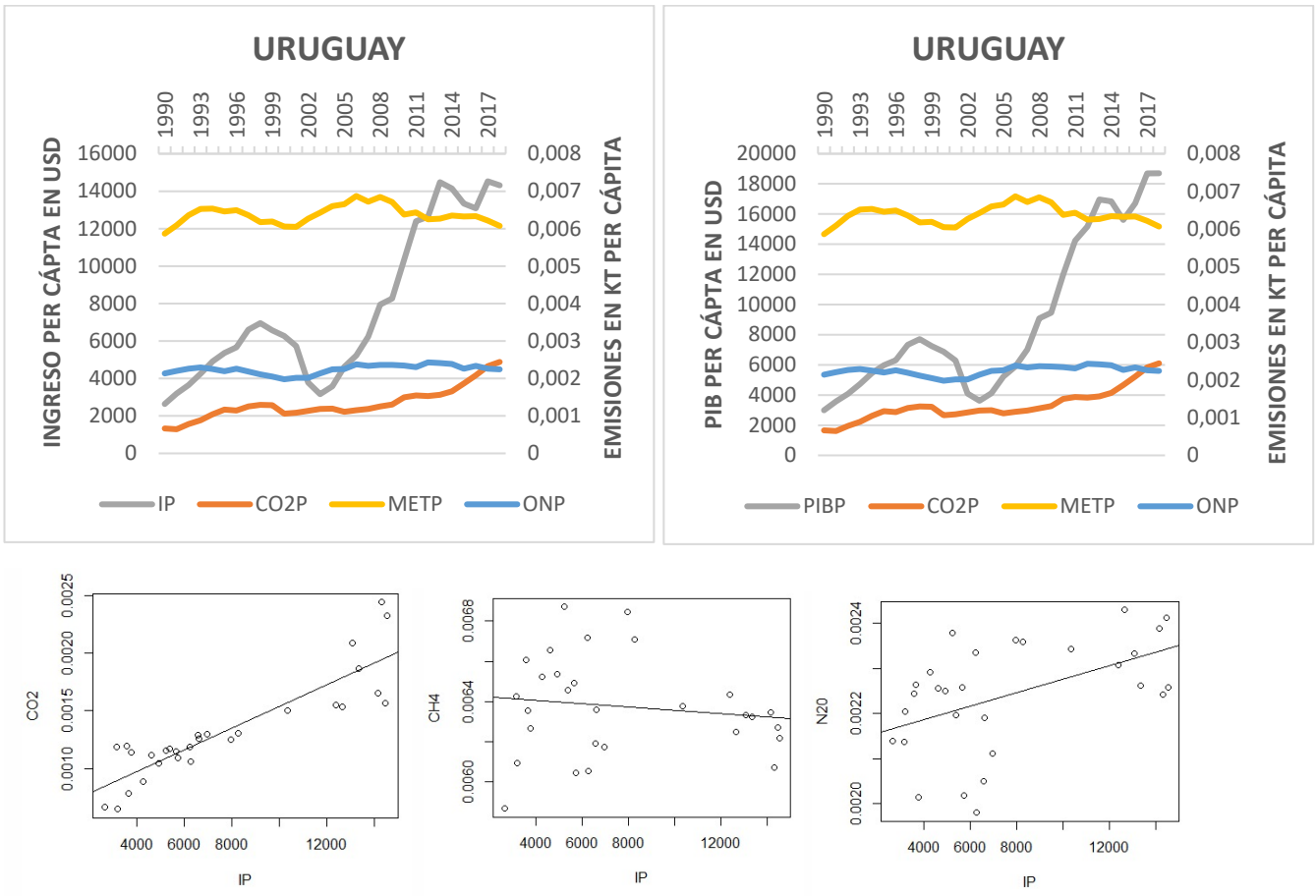
Anexo 13: Evolución de emisiones de GEI en Paraguay. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



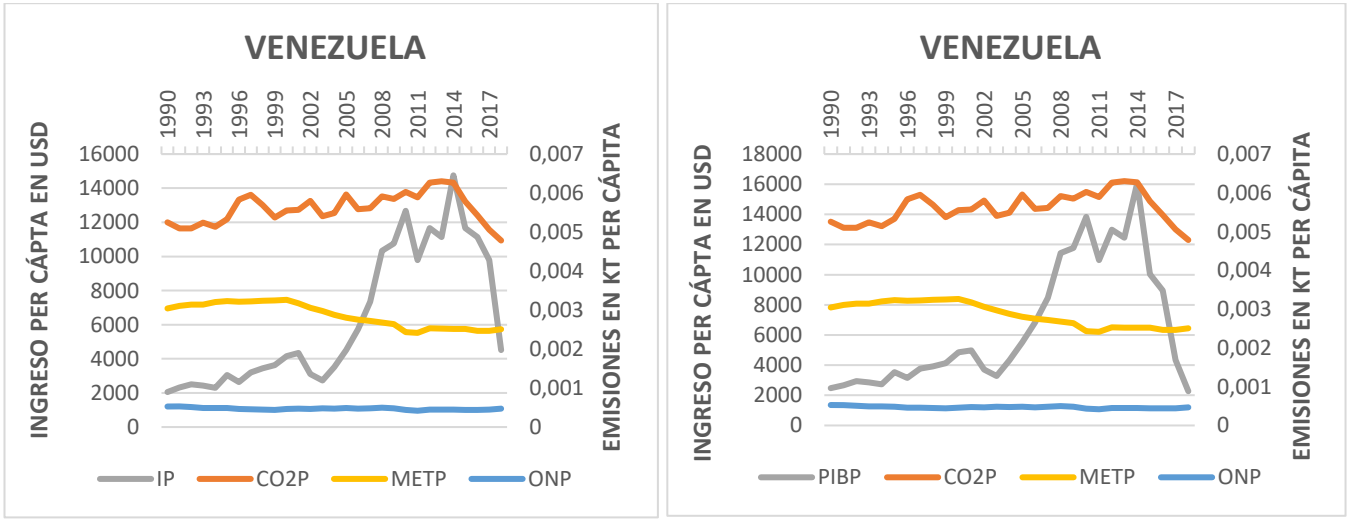
Anexo 14: Evolución de emisiones de GEI en Perú. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

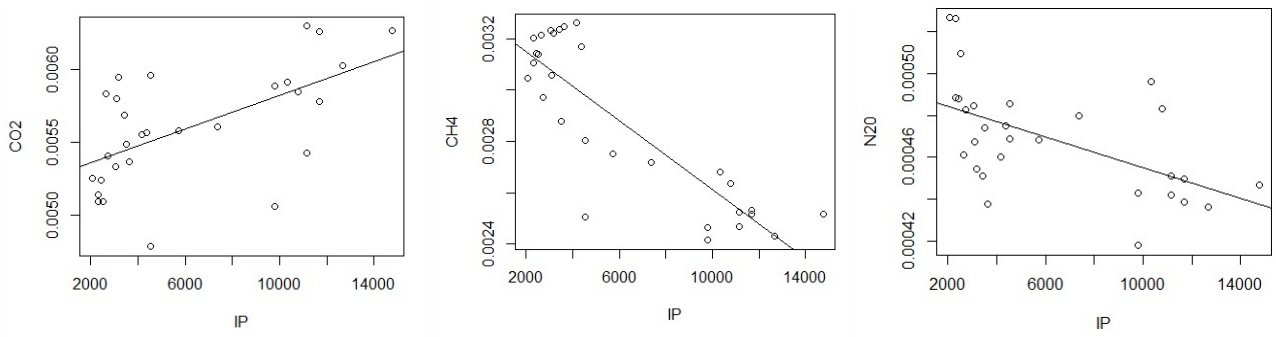


Anexo 15: Evolución de emisiones de GEI en Uruguay. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.



Anexo 16: Evolución de emisiones de GEI en Venezuela. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.





Anexo 17: Prueba de causalidad de Granger con CO2 – PIB per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.061		0.061	0.061
Pr(> F)	1	0.980		0.980	0.980

Anexo 18: Prueba de causalidad de Granger con CO2 – Ingreso per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.582		0.582	0.582
Pr(> F)	1	0.628		0.628	0.628

Anexo 19: Prueba de causalidad de Granger con CO2 – GINI. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.156		0.156	0.156
Pr(> F)	1	0.925		0.925	0.925

Anexo 20: Prueba de causalidad de Granger con CO2 – AC. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.032		0.032	0.032
Pr(> F)	1	0.992		0.992	0.992

Anexo 21: Prueba de causalidad de Granger con CH4 – PIB per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	1.071		1.071	1.071
Pr(> F)	1	0.365		0.365	0.365

Anexo 21: Prueba de causalidad de Granger con CH4 – Ingreso per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.551		0.551	0.551
Pr(> F)	1	0.649		0.649	0.649

Anexo 22: Prueba de causalidad de Granger con CH4 – GINI. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.196		0.196	0.196
Pr(> F)	1	0.899		0.899	0.899

Anexo 23: Prueba de causalidad de Granger con CH4 – AC. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.044		0.044	0.044
Pr(> F)	1	0.988		0.988	0.988

Anexo 24: Prueba de causalidad de Granger con N2O – PIB per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.895		0.895	0.895
Pr(> F)	1	0.447		0.447	0.447

Anexo 25: Prueba de causalidad de Granger con N2O – Ingreso per cápita. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.631		0.631	0.631
Pr(> F)	1	0.597		0.597	0.597

Anexo 26: Prueba de causalidad de Granger con N2O – GINI. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia.

Statistic	**N**	**Mean**	**St. Dev.**	**Min**	**Max**
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.089		0.089	0.089
Pr(> F)	1	0.966		0.966	0.966

Anexo 27: Prueba de causalidad de Granger con N2O – AC. Fuente: Banco Mundial. Elaboración propia

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Res.Df	2	90.500	2.121	89	92
Df	1	-3.000		-3	-3
F	1	0.272		0.272	0.272
Pr(> F)	1	0.846		0.846	0.846