

XII Congreso de Administración del Centro de la República. VIII Congreso de Ciencias Económicas del Centro de la República. IX Encuentro Internacional de Administración del Centro de la República. IAPCS - Universidad Nacional de Villa María, Villa María, 2023.

# **El impacto ambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica: un análisis de la curva de kuznets y el modelo IPAT entre 1990 y 2022.**

Castro, Amparo, Balbuena Montoya, Juan Diego y Corpus Pardo, Henry Duvan.

Cita:

Castro, Amparo, Balbuena Montoya, Juan Diego y Corpus Pardo, Henry Duvan (2023). *El impacto ambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica: un análisis de la curva de kuznets y el modelo IPAT entre 1990 y 2022*. XII Congreso de Administración del Centro de la República. VIII Congreso de Ciencias Económicas del Centro de la República. IX Encuentro Internacional de Administración del Centro de la República. IAPCS - Universidad Nacional de Villa María, Villa María.

Dirección estable:

<https://www.aacademica.org/xii.congreso.de.administracion.del.centro.de.la.republica.viii.congreso.de.ciencias.economicas.del/67>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/eruA/E7w>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.  
Para ver una copia de esta licencia, visite  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

*Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite:*  
<https://www.aacademica.org>.

**El impacto ambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica: un análisis de la curva de kuznets y el modelo IPAT entre 1990 y 2022.**

**\*Responsabilidad Social**

*Henry Duvan Corpos Pardo\**

*Juan Diego Balbuena Montoya\*\**

*Amparo Castro Barufaldi\*\*\**

---

\*Estudiante del programa de Economía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

[henry.corpos@uptc.edu.co](mailto:henry.corpos@uptc.edu.co)

Estudiante internacional, Colombia

\*\* Estudiante del programa de Economía de la Universidad del Quindío, Colombia.

[juand.balbuenam@uqvirtual.edu.co](mailto:juand.balbuenam@uqvirtual.edu.co)

Estudiante internacional, Colombia

\*\*\* Estudiante del programa de Economía de la Universidad Nacional de Villa María, Argentina.

[castroamparo2000@gmail.com](mailto:castroamparo2000@gmail.com)

5900 – Villa María, Córdoba

# Tabla de contenido

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>4</b>
<b>1.1BREVES CONSIDERACIONES HISTÓRICAS INICIALES: EL PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL MUNDIAL</b>	
<b>1.2ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL</b>	<b>5</b>
<b>1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>6</b>
<b>1.4 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>6</b>
<b>2.ASPECTOS Y ENFOQUES TEÓRICOS</b>	<b>6</b>
<b>3.METODOLOGÍA</b>	<b>9</b>
<b>4. MEDICIONES Y MODELOS AMBIENTALES</b>	<b>10</b>
<b>4.1 CURVA MEDIOAMBIENTAL DE KUZNETS</b>	<b>10</b>
<b>4.1.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS PAÍSES</b>	<b>12</b>
<b>4.2MODELO IPAT-STIRPAT</b>	<b>13</b>
<b>4.2.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS PAÍSES</b>	<b>14</b>
<b>5. REFLEXIONES FINALES Y/O CONCLUSIONES</b>	<b>14</b>

## RESUMEN

El problema medioambiental ha persistido en el mundo a lo largo del tiempo, no obstante, se agudizó en las últimas décadas. Por ello, este estudio pretende analizar el contexto latinoamericano para 3 países de estudio los cuales, presentan algunas divergencias macroeconómicas, pero similitudes en sus modelos económicos. Adicionalmente, este análisis parte de múltiples enfoques teóricos de la economía que tratan temas de crecimiento, desarrollo y medioambiente; por lo tanto, se pretende ofrecer una variedad de postulados para poder entender las dinámicas del sistema económico actual a través del tiempo.

En ese sentido, la pregunta de investigación del estudio es ¿Cómo ha sido la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica 1990-2022?, cuyo objetivo general es Analizar la evolución del impacto medioambiental en los países estudiados desde la aplicación del modelo económico vigente. Para tal fin, el método empleado fue el deductivo-inductivo, pues a través de la síntesis bibliográfica y cálculos de modelos se pudo determinar resultados particulares en la serie de tiempo. Por tanto, se obtuvo que los 3 países se encuentran en la parte ascendente de la curva ambiental de kuznets CAK, la tecnología no logra tener los impactos deseados de mitigación del problema medioambiental y que aún hay un margen de crecimiento de la renta per cápita en el que los países pueden obtener ingresos para combatir el impacto medioambiental.

**Palabras clave:** CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, IPAT, curva medioambiental de Kuznets (CAK)

## INTRODUCCIÓN

La actual concepción de desarrollo a partir de un modelo utilitarista y consumista ha hecho que la mayor parte del mundo esté alineado con hábitos que a largo plazo tienden a ser totalmente insostenibles por su impacto ambiental. Pues a través del tiempo la idea de amenaza naturaleza-hombre se transformó a una donde la especie humana implica un riesgo hasta para su propia raza debido a una lógica fundamental que constituye la génesis de los problemas ambientales, sociales y económicos del mundo: el individualismo.

En las siguientes páginas se proponen reseñar y estudiar la evolución del impacto ambiental de 3 países latinoamericanos desde un hecho común: la aplicación del modelo de apertura económica (MAE). Para ello, se indaga teóricamente sobre distintas fuentes a favor y en contra de los movimientos ecologistas, pero también se analiza macroeconómica y ambientalmente lo que ha sido la dinámica de los países desde la aplicación de dicho modelo para finalmente, contrastar la evidencia empírica con las mediciones propias que se realizan y así poder llegar a una discusión de las ventajas o desventajas que ha traído la lógica de acumulación de capital actual.

La pregunta de investigación que se abordara con el fin de direccionar la investigación, *¿Cómo ha sido la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación*

*del modelo de apertura económica 1990-2022?*; de esta manera, dado que el estudio se realiza de manera retrospectiva, es decir, teniendo en cuenta los hechos históricos, se contempla como objetivo general el análisis de la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del MAE.

Por consiguiente, para lograr dar respuestas a los interrogantes surgidos a lo largo del proceso de estudio se determina la serie de tiempo comprendida entre 1990 y 2022, donde se hace énfasis en la evolución a lo largo de estos años y la situación actual teniendo en cuenta un hecho clave: la pandemia del covid-19. Por esta razón, este escrito se divide en cinco partes que se explican brevemente a continuación.

La primera se denomina “*Planteamiento del problema*”, en la cual se hace un breve recorrido histórico, espacial y temporal de las concepciones ambientales y su importancia hasta la actualidad, esto teniendo en cuenta los modelos dominantes del momento.

La segunda parte son los “*Enfoques y Aspectos teóricos*”, aquí el lector podrá encontrar las principales teorías que involucran la economía y el medio ambiente, así como los postulados principales para el desarrollo de las mediciones y poder tener una base teórica sólida para un estudio como este. Seguido está la sección de “*Metodología*”, donde se explican el enfoque, técnicas y procesamiento de datos de la investigación para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

En la cuarta sección titulada “*Mediciones y Modelos Ambientales*” siguiendo los enfoques teóricos y la metodología, se presentan los resultados de las mediciones econométricas de manera matemática, analítica e interpretativa con el fin de contrastar los planteamientos de diversos autores y generar nuevas visiones alrededor del tema trabajado.

Finalmente, la última parte de “*Reflexiones finales y/o conclusiones*”, genera una discusión con base en las anteriores secciones, en la cual se pretende reflexionar y pensar sobre lo planteado, de esta manera se pretende dinamizar el debate por medio de la argumentación y el respaldo de estos para contrastar teorías y dar claridades respecto al tema que se abordó en el estudio.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Breves consideraciones históricas iniciales: el problema medioambiental mundial**

La historia ambiental se la define como la interrelación entre las sociedades y el mundo de los seres vivos, el medio ambiente y los recursos naturales; refleja una compleja relación entre el hombre y su entorno a lo largo de los años, relación que no ha dejado de ser, mayormente, destructiva y a su vez, ambivalente porque entran en juego necesidades humanas básicas como alimentarse, calentarse y cobijarse. Sin olvidar un rasgo intrínseco de nuestra especie: la codicia.

Sin embargo, la inquietud acerca de esta problemática medioambiental comienza con el ecologismo moderno de finales del Siglo XVIII, en el cual acontece un hecho histórico que fue la Revolución

Industrial (1760-1840). Éste hito vino acompañado de una transformación en las sociedades, en el cual se produjeron grandes cambios en la vida económica y productiva, generando consecuencias tales como la contaminación e impactos en el entorno natural. El proceso de industrialización y la consolidación de las ciudades fueron hechos que se desarrollaron de manera paralela, constituyendo así las bases de un mundo globalizado y excesivamente consumista, siendo este último una de las principales causas del calentamiento global.

En el siglo XX con el desenlace de la Primera Guerra Mundial (1914-1918), seguida la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), la Guerra Fría (1947-1991), entre otros acontecimientos históricos sucedidos, dieron surgimiento al desarrollo del armamento y la energía nuclear; fue así que se comenzó a tener en cuenta el poder antrópico de la acción humana por sobre la naturaleza, cobrando mayor relevancia el movimiento ecologista; pero fue principalmente a partir de 1980, 1990 que esta corriente comienza a insertarse en las universidades.

El movimiento verde nació como una inquietud social debido a la visibilidad que se le ha ido dando al accionar del hombre sobre la naturaleza; es a partir de la década de 1960 que el movimiento comienza a tomar mayor impulso y se estructura en forma de organización no gubernamental sin fines de lucro dando nacimiento al Fondo Mundial para la Naturaleza<sup>1</sup> y a Greenpeace<sup>2</sup>, entidades que han logrado un importante crecimiento.

En los últimos años, este movimiento se ha ido implementando poco a poco en los programas de los partidos políticos y hoy es un tema de gran importancia a la hora de celebrar contratos comerciales entre países y también a la hora de desarrollar políticas internas de cada país en particular.

## **1.2 Ámbito espacial y temporal**

A más de treinta años de la aplicación del MAE en los países seleccionados para el presente análisis, es importante analizar las principales variables macroeconómicas y como ha sido el comportamiento medio ambiental a través del análisis de las dos principales variables proxy de impacto ambiental, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>3</sup> y metano (CH<sub>4</sub>)<sup>4</sup>.

La liberalización ha permitido la interconexión de mercados latinoamericanos a través del nacimiento de acuerdos de libre comercio bilaterales o multilaterales. A través de la apertura de este modelo, se produjeron esfuerzos para compatibilizar el sistema de comercio y el sistema de protección ambiental. Esta tarea fue llevada a cabo con el respaldo de organizaciones intergubernamentales globales como la Organización Mundial del Comercio (OMC), instrumentos como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y las convenciones internacionales sobre el medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Mayormente conocido por sus siglas en inglés, *World Wide Fund for Nature* (WWF).

<sup>2</sup> Para más información consultar en Greenpeace México <https://www.greenpeace.org/mexico/mision-y-valores/>

<sup>3</sup> El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero más abundante y se libera principalmente a través de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otros cambios en el uso de la tierra.

<sup>4</sup> El CH<sub>4</sub> es liberado durante la producción y transporte de carbón, petróleo y gas, así como por actividades agrícolas y de gestión de residuos.

En el periodo de tiempo comprendido 1990-2022, existieron otros hechos que marcaron la historia de los países en todos los aspectos; diversas crisis económicas que atravesaron cada uno ellos, ya sea como desenlace de choques externos y un fuerte debilitamiento interno para enfrentarlos. A lo largo del periodo de estudio, los países se han enfrentado tanto a crisis económicas, sociales y políticas. Por su parte, México enfrentó dos fuertes crisis, la de 1994 y 2008; Colombia enfrentó una fuerte crisis en 1999 la cual, causó un cambio profundo en la política cambiaria y monetaria. Argentina, fue el país que más periodos recesivos sufrió tanto en 1989, 2001 y 2008. La crisis mundial del año 2020 fue atípica tanto en el escenario económico mundial como ambiental específicamente, por ende, las transformaciones que se derivaron de la crisis sanitaria tuvieron implicancias controversiales.

Con base en lo expuesto, resulta importante analizar cómo ha sido el comportamiento del impacto ambiental en función de la renta per cápita, población, renta total de recursos naturales, tecnología y desigualdad; y si, a partir de la “concientización” que ya hace más de tres décadas que se viene interiorizando tanto en las economías locales, como regionales y mundiales a través de múltiples convenciones, acuerdos y tratados, se alcanza a reducir el impacto ambiental.

### **1.3 Pregunta de investigación**

¿Cómo ha sido la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica 1990-2022?

### **1.4 Objetivo general**

Analizar la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del modelo de apertura económica.

## **2. ASPECTOS Y ENFOQUES TEÓRICOS**

El análisis de la desigualdad económica era un cuestionamiento fundamental para los economistas clásicos. Lo anterior se ve reflejado en el planteamiento de Ricardo acerca de que “la economía política debería intentar profundizar en las leyes que determinan la división de la producción industrial entre las clases que participan en ese proceso” (Ferreira, 1999), poniendo énfasis en la investigación de la distribución funcional o factorial del ingreso y sus efectos en la dinámica de la acumulación económica.

Han existido dos enfoques teóricos que han predominado, uno fue la *teoría del crecimiento* introducida en la década del cincuenta y el *enfoque del impacto ambiental*, la cual ha desempeñado un papel importante en el crecimiento económico de los países.

La *teoría del crecimiento* ha contado con diversas contribuciones, las cuales han estado fundamentadas con diferentes enfoques. La fundamentación de una posible relación de *trade-off* entre el crecimiento y la desigualdad del ingreso ha estado respaldada por estudios realizados por Lewis (1954), Kaldor (1956) y Kuznets (1955).

Lewis, en su obra titulada “*Economic development with unlimited supplies of labor*” planteo que el crecimiento económico comienza con un excedente de mano de obra en el sector agrícola. Este sector fue caracterizado por una baja productividad y salarios en consecuencia de la falta de tecnologías y competencia por los recursos limitados. A partir del proceso de industrialización que ha experimentado la economía, ha creado empleos calificados generando un desplazamiento de los trabajadores rurales excedentes a las zonas urbanas; en consecuencia, ha aumentado la productividad y los salarios rurales debido a la escasez que se ha comenzado a generar. A su vez, este autor destaca que la acumulación de capital es un factor importante para lograr el crecimiento económico.

Por su parte, Kaldor ha planteado en su obra “*Alternative theories of distribution*” que, el crecimiento sostenido de una economía depende de la capacidad de aumentar la productividad laboral a través de mejoras en la tecnología, la educación, la capacitación, entre otros factores. A su vez argumenta que, una mejor distribución del ingreso es un factor relevante para el crecimiento sostenido debido a que esto conlleva a un mayor nivel de consumo, lo que se traduce en crecimiento económico.

Siguiendo el estudio de enfoque *trade-off*, Simón Kuznets ha tenido fuertes contribuciones no solo con respecto al crecimiento económico sino también con respecto al impacto ambiental. Este autor ha planteado una hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK), en la que plantea la existencia de una relación en forma de U invertida entre la renta per cápita y el impacto ambiental<sup>5</sup>. Este modelo plantea que el deterioro del medio ambiente aumenta en proporción al nivel de actividad económica hasta alcanzar un punto crítico de ingresos, a partir del cual un mayor nivel de ingresos se relaciona con niveles cada vez más altos de calidad ambiental. Además, la hipótesis de Kuznets presenta ciertas implicaciones importantes a tener en cuenta, ya que para el caso de los países en vía de desarrollo que se ven enfrentados a una situación de trampa de pobreza les será casi imposible lograr un buen nivel de calidad ambiental en la medida que estos no sobrepasen un nivel mínimo de ingresos per cápita; no obstante, la problemática se agudiza aún más, porque aunque estos países atraviesen por un *big push*<sup>6</sup> y logren superar la trampa de pobreza y obtener un crecimiento económico de los sectores productivos, seguramente dichas economías no lograrán superar óptimamente la trampa ambiental en la que se encuentran inmersos, esto se debe principalmente por la baja capacidad institucional que poseen al igual que la deficiencia en la transferencia de tecnología.

A partir de los años setenta, se generó un cambio de enfoque predominando la *función de producción neoclásica y el agente representativo*. El crecimiento poblacional ha estado estrechamente vinculado con el crecimiento económico. Robert Solow desarrolló un modelo macroeconómico para explicar el crecimiento económico y las variables que intervienen en él en el largo plazo. Así, (Solow, 1956) sostiene que, el aumento de la población produce una economía en desaceleración, ya que necesita más

---

<sup>5</sup> Consultar Susmita Dasgupta (2002) y Dinda (2004) para obtener un panorama más completo.

<sup>6</sup> Hace referencia a una estrategia de desarrollo económico que busca impulsar el crecimiento económico a través de una inversión masiva y coordinada en múltiples sectores de la economía, con el objetivo de superar obstáculos y generar efectos de encadenamiento o multiplicadores.



inversión para mantener la misma producción per cápita. Esto ocurre debido a que a medida que aumenta la proporción de máquinas por trabajador, también aumenta la producción per cápita. Sin embargo, las cantidades incrementales disminuyen con el tiempo. Por lo tanto, eventualmente la tasa de crecimiento del PIB per cápita disminuirá hasta llegar a cero.

En la década del noventa, han surgido nuevas contribuciones respecto a la teoría del crecimiento, retomándose así la discusión del crecimiento y la distribución. Fue en esta década que se introduce la *teoría del crecimiento endógeno* la cual es visibilizada a partir de los trabajos de Romer (1986). El énfasis de dicho estudio estaba puesto en el rol predominante que desempeña la inversión en capital humano, ya que para el autor el conocimiento y las ideas pueden considerarse como factores productivos que generan rendimientos crecientes significando que, a medida que el conocimiento aumenta y se invierte en investigación y desarrollo, la economía puede experimentar un crecimiento sostenido a largo plazo.

Por otra parte, el *impacto ambiental* también desempeña un papel importante en el *crecimiento económico* de los países. El análisis de ambos aspectos se profundiza a partir de los años 90, y es el principal objeto de estudio del presente documento. La discusión ha estado predominada por la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK); en este sentido, la sociedad ha comenzado a inquietarse por las problemáticas medioambientales cada vez más, puesto que los cambios negativos que se generan al entorno ambiental son el resultado de las actividades humanas principalmente. Además, los gases de efecto invernadero (GEI), intensifican la problemática ambiental, puesto que dichos gases provocan un aumento en la temperatura de la tierra y alteran el equilibrio climático.

Con base a lo anterior, Galeotti *et al.* (2006) sostiene que 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. Así mismo, Beckerman (1992) plantea 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. En consecuencia, Schelling's (1992), sostiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> de países desarrollados y en desarrollo se acumulan en la misma y única troposfera, por lo que en este punto lo relevante no es que algunos países superen el umbral crítico de la CAK, sino que dicho umbral se supere a nivel global.

En términos de *crecimiento y desarrollo*, Grossman y Krueger (1991) han examinado como repercuten en el medio ambiente las políticas comerciales dirigidas a la reducción de barreras comerciales. De este modo, su atención estuvo centrada netamente en los efectos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA, por sus siglas en inglés); el impacto fue explicado por la actividad puesto que, a mayor actividad económica, mayores emisiones de contaminantes, residuos, generando así, mayor deterioro ambiental. Dichos autores afirman que, a medida que la producción y la economía se experimentan un crecimiento simultaneo y pasan de una etapa a otra en el proceso de desarrollo, se produce un cambio en la estructura productiva. El proceso de industrialización alcanza su

punto máximo, y en etapas más avanzadas del desarrollo, el aumento de la actividad conlleva una transición hacia una economía centrada en el sector de servicios, el cual es considerablemente menos contaminante que la actividad industrial.

Por último, y en medio del debate emisiones y PIB per cápita, Ekins (2000) sostiene que el modelo IPAT corresponde a una identidad donde se considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> son determinadas por la evolución de la población, la riqueza aproximada por el PIB o PIB per cápita y la evolución tecnológica aproximada por las intensidades de emisiones a energía o a PIB. Así mismo, Yong *et al.* (2000) sostiene además que una de las fuerzas motrices cualitativas del cambio climático es la urbanización, ya que el sector industrial –principal responsable de las emisiones de dióxido de carbono– suele radicarse en –o muy cerca de– zonas urbanizadas; a esto se suman las emisiones generadas por los problemas de tratamiento de residuos domiciliarios, acentuados por la concentración y el hacinamiento. En el mismo sentido, (Harrison, 1993, Raskin, 1995, York et al., 2002) sugieren que las emisiones de carbono y la demanda de energía se modelan como dependientes de las variables socioeconómicas.

### **3. Metodología**

Según las particularidades del estudio, la investigación se centró en determinar el objetivo central de analizar la evolución del impacto medioambiental en Argentina, Colombia y México desde la aplicación del MAE. Para lograr esto se usaron técnicas cualitativas y cuantitativas de identificación, comparación y medición de cada uno de los objetivos específicos del estudio, es por esto que el enfoque metodológico es de carácter mixto.

Por una parte, el método empleado desde un enfoque cualitativo fue el deductivo-inductivo, pues a través de la síntesis bibliográfica y cálculos de modelos se pudo determinar resultados particulares que pudieron ser utilizados para el análisis general, así mismo, por medio de los fenómenos generales se pudieron sacar interpretaciones para casos específicos y locales de los países en cuestión. De esta manera se consolida información histórica de los 3 países para después proceder a una etapa descriptiva de los fenómenos macroeconómicos y ambientales. Teniendo en cuenta lo anterior, se pudieron comprender las principales variables de los modelos empleados para seguir con las mediciones y cálculos de la investigación.

El estudio utiliza por otra parte el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo. En este se empleó la recolección y análisis de datos para el periodo de analizado, el cual se dividió en 2 subperiodos: 1990 a 2005 y 2006 a 2022; esto para medir el cambio de las variables sujetas de estudio. Adicionalmente, el uso de la estadística descriptiva, inferencial y econometría permitió analizar la evolución del impacto ambiental en los países de estudio para la serie de tiempo analizada. En vista de lo anterior para la recolección de datos y posterior modelación econométrica se siguieron los siguientes procesos:

1. Elaboración o selección de los instrumentos de investigación.
2. Codificación de la información, según los instrumentos del análisis.

3. Depuración de los datos para los modelos econométricos.
4. Modelación econométrica según la metodología empleada.
5. Selección de los mejores modelos según criterios de significancia, no autocorrelación, heterocedasticidad y cumplimiento de las condiciones MELI.
6. Interpretación de los modelos y discusión de estos.

Siguiendo la metodología planteada por (Galindo, Reyes, & Gonzalez), se realizaron los cálculos del modelo de la curva ambiental de Kuznets, el modelo IPAT y STIRPAD en el paquete estadístico-econométrico STATA. Por lo anterior, los modelos econométricos incluyeron variables independientes como las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, lo cual permitió medir la evolución del impacto ambiental en los países respecto a los cambios en otras variables dependientes. Cabe señalar que estas fueron desestacionalizadas, pronosticadas, deflactadas y sometidas a pruebas de robustez, normalidad y significancia estadística de acuerdo con los postulados teórico-técnicos de los métodos empleados. Es importante destacar que los datos del índice de GINI y emisiones de contaminantes para algunos años se tuvieron que pronosticar, los cuales no son mayores al 10% del total de los datos de cada variable.

De esta manera, los enfoques y métodos empleados contribuyeron al objetivo del estudio para poder responder la pregunta central del texto y de esta manera aceptar o descartar las hipótesis previamente planteadas.

## **4. Mediciones y modelos ambientales**

### ***4.1 Curva medioambiental de Kuznets***

Para cada uno de los países se estimaron los modelos de regresión múltiple Log-log. Teniendo en cuenta que algunas variables no se comportan de una manera uniforme, ya sea lineal, exponencial, tendencial u otro comportamiento en el que se puedan utilizar modelos predecibles. De acuerdo con la serie de tiempo seleccionada se aplica un modelo Log-log y se calcula por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Por lo anterior, la estructura de los modelos para establecer la curva medioambiental de Kuznets (CAK) para el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> es un modelo de regresión múltiple puesto que no sólo se quiere ver la tendencia y punto en que se encuentran los países en la misma, se pretende establecer las relaciones entre variables y el impacto que algunas de ellas tienen sobre la degradación ambiental más allá del crecimiento de la renta per cápita. En vista de lo anterior se presenta el modelo de regresión múltiple:

$$Y = \alpha + \beta_{1ti}X_{1ti} + \beta_{2t}X_{2ti} + \beta_{3ti}X_{3ti} + \beta_{4ti}X_{4ti} + \varepsilon_{ti}$$

Al linealizar la expresión y ponerla en términos de logaritmos se obtiene que:

$$\ln Y = \alpha + \beta_{1ti}\ln X_{1ti} + \beta_{2ti}\ln X_{2ti} + \beta_{3ti}\ln X_{3ti} + \beta_{4ti}\ln X_{4ti} + \varepsilon_{ti}$$

Donde:

$$\alpha = \ln \beta_0$$

$Y \rightarrow$  Emisiones de CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub> en kilotoneladas

$X_{1t} \rightarrow$  PIB Per Cápita (PPC)

$X_{2t} \rightarrow$  Crecimiento de la población (CP)

$X_{3t} \rightarrow$  Coeficiente de GINI (GINI)

$X_{4t} \rightarrow$  Renta total de los recursos naturales como porcentaje del PIB (RTRN)

Donde los subíndices hacen referencia a:

$t \rightarrow$  Periodo de estudio de 1990 al 2022  $i \rightarrow$  País de estudio

En consecuencia, se calcularon 6 modelos, 2 por cada país tanto para emisiones de CO2 como de CH4. Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla y seguido de esto se analizan para el caso particular de cada país:

Tabla 1 – Resultados de los modelos para la curva ambiental de Kuznets de Argentina, México y Colombia

	Estimaciones medioambientales					
	Curva Ambiental de Kuznets CAK para las emisiones de CO2			Curva Ambiental de Kuznets CAK para las emisiones de CH4		
	Argentina	Colombia	México	Argentina	Colombia	México
<b>País</b>						
<b><math>\alpha</math></b>	5,0811*	2,1866*	7,44*	11,0053*	4,4776*	10,2669*
<b><math>\beta_1</math></b>	0,9379*	0,8583*	1,214*	0,1269	0,5185*	0,6611*
<b><math>\beta_2</math></b>	-0,0368	0,001	-0,5893	0,0049	0,0487	-0,077
<b><math>\beta_3</math></b>	-0,5206	0,4384*	-1,4409	-1,4187	0,5431*	-1,1732*
<b><math>\beta_4</math></b>	0,0438	-0,0972*	0,6363*	0,0542*	0,0226	0,0017
<b>Prob &gt; F del modelo</b>	0	0	0	0,001	0	0
<b>R-Squared</b>	0,8519	0,9504	0,884	0,4849	0,9268	0,945
<b>Adj R-Squared</b>	0,83	0,9436	0,8668	0,4086	0,9159	0,9369

Nota: \* los coeficientes tienen un nivel de significancia del 95%.

Fuente: elaboración propia de los autores

Tabla 2 – Interpretación de resultados de los modelos para la CAK de Argentina, México y Colombia

	Estimaciones medioambientales					
	Curva Ambiental de Kuznets CAK para las emisiones de CO2			Curva Ambiental de Kuznets CAK para las emisiones de CH4		
<i>País</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>México</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>México</i>
$\alpha$	5,0811*	2,1866*	7,44*	11,0053*	4,4776*	10,2669*
<i>PPC</i>	Incidencia significativa	Incidencia significativa	Incidencia significativa	Insignificante	Incidencia significativa	Incidencia significativa
<i>CP</i>	Relación inversa	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante
<i>GINI</i>	Relación inversa	Poca insignificancia	Insignificante	Insignificante	Incidencia significativa	Relación inversa
<i>RTRN</i>	Poca significancia	Relación inversa	Incidencia significativa	Variable significativa	Insignificante	Insignificante

Fuente: elaboración propia de los autores

#### 4.1.1 Comparación entre los países

Tabla 3 - Resultados de la evolución en 2 periodos para la curva ambiental de Kuznets de Argentina, México y Colombia

	Estimaciones medioambientales de la CAK CO2					
	1990-2005			2006-2021		
<i>País</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>México</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>México</i>
$\alpha$	7,3339*	2,2181	8,7664	19,0224	-3,2618*	16,1316
$\beta_1$	0,5746*	0,7388*	0,5909	-0,2096	1,3177*	-0,1976
$\beta_2$	-0,5931*	0,0254	-0,924*	0,0048	-0,0515	-0,1077
$\beta_3$	-0,2093	0,6711*	-0,1963	-1,3175	0,7888	-0,3287
$\beta_4$	0,0133	-0,0822	-0,0662	-0,0143	-0,0451	0,0127
<i>Prob &gt; F del modelo</i>	0	0	0	0,01	0	0,1512
<i>R-Squared</i>	0,9496	0,9228	0,9362	0,6279	0,9642	0,4313
<i>Adj R-Squared</i>	0,9312	0,8948	0,913	0,4926	0,9512	0,2245

Nota: \* los coeficientes tienen un nivel de significancia del 95%.

Fuente: elaboración propia de los autores

Al centrar el análisis en el postulado de la CAK, se determina la evolución del impacto medioambiental en los países de estudio para el periodo de estudio en dos periodos: 1990 a 2005 y 2006 a 2021, donde se tiene que para el caso concreto del crecimiento de la renta per cápita Argentina y México a pesar de que no hay significancia para el segundo periodo presentan una reducción y cambio de tendencia de impacto positivo ante incrementos de la PPC del primer periodo a una reducción del impacto en términos porcentuales, lo cual indica que estos países estarían llegando a puntos intermedios altos de la curva de Kuznets. Para el caso colombiano se mantiene la tendencia de que al aumentar la PPC se aumenta el impacto ambiental e inclusive en mayor proporción, lo que indicaría que el país aún se encuentra en una fase ascendente en el periodo referenciado.

En cuanto a la RTRN se presenta algo particular para Argentina y Colombia, pues entre los dos periodos al aumentar esta renta según los resultados se pudo destinar a medidas y presupuesto que buscaran reducir el impacto ambiental, sin embargo, sus aportes para a disminución de la contaminación no es significativa para las emisiones de CO2. En México se presentó lo contrario, del primer periodo al segundo se pasa de una reducción de las emisiones de CO2 ante aumentos de la RTRN a una relación positiva entre los dos periodos.

Colombia y México presentan una reducción del impacto ambiental ante el crecimiento poblacional del primer al segundo periodo, mientras que Argentina tuvo una incidencia positiva del primer al segundo periodo ante variaciones del crecimiento poblacional. No obstante, los anteriores resultados no constituyen significancia para la explicación de la dinámica entre los periodos de las emisiones contaminantes.

Finalmente, en cuanto a la desigualdad se observa que, en Colombia, en los dos periodos seleccionados, al incrementarse dicha variable, la misma consecuencia sobre el impacto ambiental; mientras que en Argentina y México no se obtiene significancia de esta variable.

#### **4.2 Modelo IPAT-STIRPAT**

Con el objetivo de medir el impacto ambiental que han tenido los países de estudio por medio de la Curva de Kuznets y el modelo IPAT, se estima este último modelo para analizar la trayectoria entre CO2 junto al CH4 en función de la población, el producto interno per cápita, la razón entre el impacto ambiental calculado como un proxy (CO2+CH4/T) y la tecnología per cápita cuya variable proxy se determina por la inversión en I+D como porcentaje del PIB dividida en la población. En ese sentido, se estima el modelo de regresión múltiple por el método de MCO y se sigue la metodología de (Galindo, Reyes, & Gonzalez , 2022) para lograr un modelo IPAT y STIRPAT que analice el papel de las variables. Por ende, se tiene que:

$$Y = \alpha + \beta_{1ti}X_{1ti} + \beta_{2t}X_{2ti} + \beta_{3ti}X_{3ti} + \varepsilon_{ti}$$

Al linealizar la expresión y ponerla en términos de logaritmos se obtiene un modelo IPAT de tipo STIRPAT que incluye la razón del impacto ambiental con respecto a la tecnología per cápita:

$$\ln Y = \alpha + \beta_{1ti}\ln X_{1ti} + \beta_{2ti}\ln X_{2ti} + \beta_{3ti}\ln \left( \frac{X_{Yti}}{X_{3ti}} \right) + \varepsilon_{ti}$$

Donde:

$$\alpha = \ln \beta_0$$

$Y \rightarrow$  Impacto ambiental CO2 + CH4 en kilotoneladas (I)

$X_{1t} \rightarrow$  Tamaño de la población (P)

$X_{2t} \rightarrow$  PIB per cápita (A)

$X_{3t} \rightarrow$  Tecnología per cápita (T)

$$\therefore \ln I = \alpha + \beta_{1ti}\ln P_{1ti} + \beta_{2ti}\ln A_{2ti} + \beta_{3ti}\ln \left( \frac{I_{Yti}}{A_{3ti}} \right) + \varepsilon_{ti}$$

De esta manera se tiene entonces que el modelo IPAT-STIRPAT queda:

$$\ln impactam = \alpha + \beta_{1ti} \ln t ampob_{1ti} + \beta_{2ti} \ln PIBpc_{2ti} + \beta_{3ti} \ln(\text{razón imptec}) + \varepsilon_{ti}$$

Donde los subíndices hacen referencia a:

$t \rightarrow$  Periodo de estudio de 1990 al 2022  $i \rightarrow$  País de estudio

En consecuencia, se calcularon 3 modelos para los países. A continuación, se analizan los resultados:

Tabla 2 - Resultados de los modelos para el modelo de IPAT-STIRPAT en Argentina, Colombia y México

	<i>Estimaciones medioambientales</i>		
	<b>Modelo IPAT-STIRPAT para el impacto ambiental (CO2+CH4)</b>		
<i>País</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>México</i>
$\alpha$	-13,6734*	5,0648*	-24,2639*
$\beta_1$	1,1865*	0,1634	1,6296*
$\beta_2$	0,4109*	0,4638*	0,3801
$\beta_3$	0,1853*	-0,0097	0,4015*
<i>Prob &gt; F del modelo</i>	0	0	0
<i>R-Squared</i>	0,9799	0,9491	0,9702
<i>Adj R-Squared</i>	0,9778	0,9436	0,967

Nota: \* los coeficientes tienen un nivel de significancia del 95%.

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.1 Comparación entre los países

Según las estimaciones presentadas en la tabla 3 se obtuvo que para el caso de la renta per cápita hay una incidencia positiva para los 3 países que genera crecimiento de la contaminación e impacto ambiental. Por otra parte, la tecnología logra tener un impacto de reducción en los problemas medioambientales en los 3 países, pero no constituye un elemento significativo en términos porcentuales debido a su limitado presupuesto en proporción del producto interno bruto.

Finalmente, el tamaño de la población tiene una incidencia significativa sobre las implicaciones medioambientales especialmente para Argentina y México, pero para Colombia esta variable no es tan significativa; esto es congruente con los resultados presentados en el punto 5.1.4, pues se señala que estos dos países están en una fase ascendente más alta que Colombia dado sus PPC más altas que la colombiana dado que este país aún tiene un margen de crecimiento y degradación ambiental mayor según los postulados de la CKA y lo obtenido por el modelo IPAT-STIRPAT.

## 5. Reflexiones finales y/o conclusiones

El modelo de apertura económica ha presentado diversos desafíos para las economías mundiales que han adoptado dicho modelo, ya que se ha enfocado en la liberalización económica, liberalización financiera, privatización, apertura comercial y de capitales, reestructuración de la banca de desarrollo y control inflacionario.

Las dinámicas de políticas económicas y comerciales de los países latinoamericanos han hecho que confluyan en una agenda de cambio climático con el fin de cumplir con estándares, reglamentos y normativas internacionales que contengan el impacto ambiental de las economías. Por ende, los procesos de concientización han ganado terreno en la esfera de la gestión pública dando un mayor protagonismo de las cuestiones ambientales en los planes de desarrollo nacionales, estatales y locales, a través de distintos mecanismos de la estructura institucional aplicados por los países.

No obstante, esta concientización no se ha logrado adoptar por la sociedad, la cual no ha reconocido las problemáticas medioambientales debido a, por una parte, las cuestiones culturales, financieras y hábitos de consumo arraigados del modelo dominante actual y, por otra parte, la falta de incentivos hacia las poblaciones para que tengan hábitos más conscientes de sus acciones y los lleven a tener conductas más amigables con el medio ambiente y así poder amortiguar estos impactos.

Para el caso de los países en cuestión se ha podido determinar que el impacto ambiental desde la aplicación del modelo de apertura económica se ha visto reflejado a través de distintas variables que fueron medidas por medio del modelo CAK e IPAT-STIRPAT. En ese sentido, se obtuvo que debido a las sendas de crecimiento adoptadas por los países la renta per cápita a lo largo del periodo tuvo una incidencia positiva sobre el medio ambiente siendo México el principal emisor, seguido por Argentina y Colombia. Sin embargo, se encontró que tanto Argentina como México lograron pasar de un punto ascendente de la CAK a una fase intermedia de la misma; por otro lado, Colombia aún se encuentra ascendiendo sobre la curva. Otras variables consideradas como el tamaño poblacional, GINI y RTRN arrojaron que no tenían el mismo grado de significancia e implicación que el PPC.

De esta manera, es recomendable para los países fomentar políticas públicas enfocadas en reducir la brecha desigualdad social a través de la formación de capital humano y generación de empleo que vayan en sintonía con la sostenibilidad ambiental. Adicionalmente, es pertinente para los países incentivar el gasto público y privado en innovación y desarrollo (I+D), ya que se pudo evidenciar que la tecnología aún no representa mayor relevancia sobre la disminución del impacto ambiental, mientras que los países más desarrollados destinan mayor presupuesto a este rubro y logran de esta manera presentar un impacto ambiental menor por la doble implicación tecnológica: sobre el crecimiento y reducción de la huella ambiental.

### **Bibliografía**

- Galindo, M. L., Reyes, P., & Gonzalez, F. (25 de May de 2022). Scenarios for the energy transition to a carbon neutral economy in Latin America and the Caribbean: Some stylized facts. *Sobre México. Temas de Economía. Nueva Época*, 3(6), 5-39.
- Galindo, M. L., Reyes, P., & Gonzalez, F. (25 de May de 2022). Scenarios for the energy transition to a carbon neutral economy in Latin America and the Caribbean: Some stylized facts. *Sobre México. Temas de Economía. Nueva Época*, 3(6), 5-39.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO. Paris: Santillana.
- Solow, R. (1956). Modelo de Crecimiento Neoclásico.