

Capítulo 6. Generación de emisiones de carbono de los principales países en América Latina, 1996-2021 y sus efectos en los ODS



ENRIQUE GUARDADO IBARRA*

RICARDO VEGA**

RUTH ORTIZ ZARCO***

MARIO CRUZ CRUZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.362.06>

Resumen

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible se han convertido en el centro de discusión y análisis en la mayoría de los países en todo el mundo dada la naturaleza de sus alcances buscando garantizar la satisfacción de las necesidades del ser humano en la actualidad sin tener comprometidas las necesidades de las generaciones futuras. Bajo esta premisa, el estudio del cambio climático, específicamente la generación de las emisiones de CO₂, se vuelve clave para alcanzar los objetivos antes mencionados. Es por ello que la presente investigación tiene por objetivo hacer un diagnóstico de la generación de las emisiones de CO₂ en los principales países de Latinoamérica mediante variables medioambientales, económicas y de I+D, aplicando un modelo econométrico de datos de panel durante el periodo de 1996 al 2021 validando una relación de equilibrio en el largo plazo entre las variables, con el fin de que los creadores de políticas públicas tengan un mayor panorama para reducir estas emisiones.

* Doctor en Ciencias en Negocios Internacionales. Profesor-investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7329-9811> ; correo: enrique_guardado@uaeh.edu.mx

** Doctor en ciencias Económicas. Profesor-investigador en la Universidad Autónoma de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4367-0445>

*** Doctora en Ciencias Económicas. Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7050-5181>

**** Doctor en Ciencias Políticas y Sociales, con Orientación en Relaciones Internacionales. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1399-9223>

Palabras clave: *emisiones de CO₂, ODS, T-MEC, energías renovables, I+D.*

Introducción

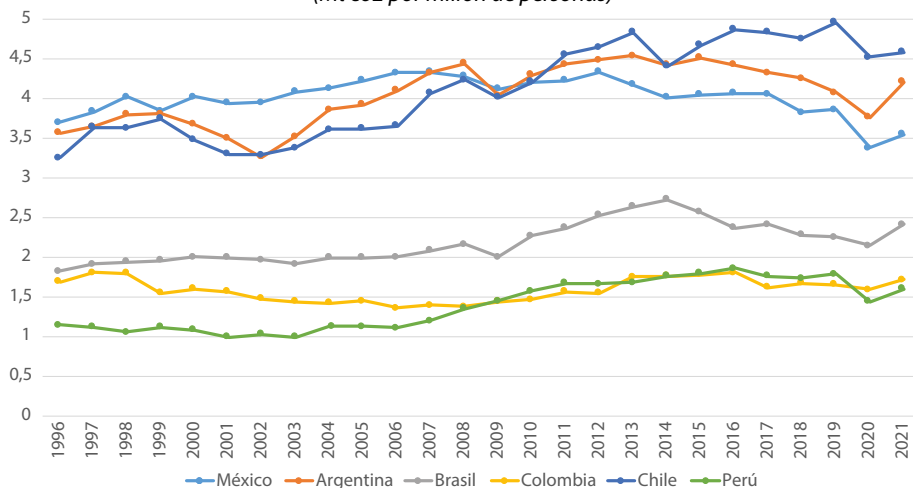
El desarrollo sostenible se ha convertido en una prioridad y la piedra angular para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los países hoy en día. La prosperidad, la eliminación de la pobreza y el cuidado del planeta son temas que están en el día a día en las agendas de los tomadores de decisiones. El cambio climático no es un tema ajeno dentro de la búsqueda del desarrollo sostenible de las naciones, ya que este ha sido encauzado en mayor medida por las actividades que realiza el ser humano para lograr satisfacer sus necesidades. Estas actividades llevadas a cabo por el ser humano han provocado el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, provocando estragos en el comportamiento del clima y en el incremento del nivel del mar (Naciones Unidas, 2025). El año de 1996 se vuelve clave para el desarrollo sostenible en el mundo debido a que se creó la Secretaría de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, teniendo por objetivo abordar el cambio climático a través de la búsqueda de la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (emisiones de CO₂) en la atmósfera. La creación de esta secretaria derivó al año siguiente la adopción del Protocolo de Kyoto, vinculando jurídicamente a los países con los objetivos de reducción de emisiones (ONU, 2025).

Dentro de las regiones con mayor daño causado por el cambio climático se encuentra América Latina y el Caribe (WMO, 2021). Estos cambios medioambientales suelen causar daños graves a la salud, la vida, la alimentación, el agua, la energía y el desarrollo socioeconómico de los habitantes de las regiones que padecen estos efectos. De acuerdo al informe de la Organización Mundial Meteorológica (WMO) (2024) sobre el Estado del Clima en América Latina y el Caribe, se confirmó que el año 2023 fue el más cálido registrado. El nivel del mar aumentó a un ritmo superior al promedio mundial en gran parte de la zona atlántica de la región, amenazando zonas principalmente costeras.

Lo anterior se ha convertido en un reto fundamental principalmente para los países que más contribuyen a la generación de CO₂ derivado de sus

actividades económicas. De acuerdo con el FMI (2025), los países que más destacan por su PIB en Latinoamérica al 2024 derivado de sus diversas actividades económicas son Brasil (2171.337 miles de millones de dólares), México (1852.723 miles de millones de dólares), Argentina (632.145 millones de dólares), Colombia (418.542 millones de dólares), Chile (330.21 millones de dólares) y Perú (289.07 millones de dólares). Al ser los principales países que más PIB generan en la región se han convertido de igual manera, dadas las características de su política industrial, en países con alta generación de emisiones de CO₂. El comportamiento de las emisiones de CO₂ de estos países se puede observar a continuación:

Gráfica 6.1. Emisiones de CO₂ de los principales países de Latinoamérica
(Mt co2 por millón de personas)



Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial, 2025.

Como se observa en la gráfica 6.1, la tendencia en la generación de emisiones de CO₂ de los principales países en Latinoamérica es ligeramente al alza en la mayoría de ellos en el periodo señalado, esto se debe a múltiples factores tales como a la producción de energías principalmente de energías no renovables, una considerada alza en la deforestación, etc. (Asturias-Schaub y Gil-Alana, 2023).

América Latina tiene un papel estratégico global derivado de sus vastos territorios con recursos naturales abundantes, específicamente en combus-

tibles fósiles y energías renovables a través de biocombustibles, energía hidroeléctrica, recursos eólicos y solares y minerales que resultan esenciales para las tecnologías de energía limpia (IEA, 2023). Son estas características que tienen a esta región bien posicionada a nivel mundial para realizar una adecuada transición hacia las energías limpias y contribuir a la seguridad energética global y, así mismo, alcanzar los objetivos climáticos.

Para poder potencializar la producción de energías limpias que reduzcan las emisiones de CO₂, la participación de capitales privados en conjunto con el Estado se vuelve clave, por lo que la participación de la IED se convierte en un objeto de análisis interesante. Sin embargo, la región de Latinoamérica se caracteriza por estar compuesta por países en vías de desarrollo, por lo que el comportamiento y desempeño de la IED tiende a ser diferente que en los países desarrollados, ya que sus objetivos suelen ser diferentes, preocupándose en menor medida por el desempeño de las emisiones de CO₂ que pudieran generar en los países latinoamericanos donde se instalan (Williams, 2015).

Es en este sentido en donde el Estado debe de intervenir para fomentar que las empresas generen beneficios en pro del medio ambiente. Esto puede verse reflejado a partir del incremento del gasto en investigación y desarrollo con el fin de fomentar la innovación de tecnología que permita mitigar los efectos de las emisiones de CO₂ en el medio ambiente, así como potencializar la eficiencia de las energías limpias. Sin embargo, es una realidad que en Latinoamérica el gasto en I+D es menor que en los países desarrollados y emergentes (Ciocca y Delgado, 2017).

Derivado de lo anterior, surge el cuestionamiento sobre ¿de qué manera los principales factores medioambientales, económicos y de I+D intervienen en la generación de emisiones de CO₂ en los principales países de Latinoamérica durante el periodo 1996-2021? Teniendo por objetivo hacer un diagnóstico de la generación de las emisiones de CO₂ en los principales países de Latinoamérica durante el periodo 1996-2021 mediante variables clave como el consumo de energías renovables, entradas netas de IED, gasto en I+D y el PIB per cápita, aplicando un modelo econométrico de datos de panel que permita identificar que haya una relación en el largo plazo entre las variables, así como el efecto que estas pudieran tener en la generación de las emisiones de CO₂.

Revisión empírica de la literatura

En los años recientes ha surgido la necesidad de estudiar los efectos de las emisiones de CO_2 en el crecimiento y desarrollo de las economías en el mundo. Asturias-Schaub y Gil-Alana (2023) señalan que la vulnerabilidad al cambio climático en los países latinoamericanos ha llevado a la necesidad de estudiar las emisiones de CO_2 considerando el impacto ambiental, impacto económico y el impacto social que este genera.

Desde la visión del impacto ambiental, se han llevado a cabo estudios recientes que han buscado analizar la conexión entre el consumo de energías limpias y las emisiones de CO_2 en el largo plazo en diversos tipos de economías alrededor del mundo. Sadorsky (2009), por ejemplo, plantea la relación entre los precios energéticos en los países miembros del G7 y las emisiones de CO_2 durante el periodo de 1980 al 2005 en donde, a través del Modelo de Corrección de Errores (VECM, por sus siglas en inglés), muestra que, junto con el crecimiento económico, las emisiones de CO_2 impulsan de manera significativa el crecimiento de las energías limpias en el largo plazo. Concluye que las sociedades en los países con mayores ingresos tienden a financiar y adquirir este tipo de energías. Apergis et al. (2010), por su parte, analizan la dinámica causal entre las energías renovables, energía nuclear y las emisiones de CO_2 en un panel de datos de 19 economías desarrolladas y en vías de desarrollo en el periodo de 1984-2007. La evidencia que encontraron sugiere que existe una sustancial y negativa relación entre el consumo de la energía nuclear y las emisiones de CO_2 , determinando que la mejor opción es el consumo de energías renovables para mitigar las emisiones. Zhang, Wang y Peng (2022), a través de la vinculación de las inversiones en energías limpias con políticas monetarias y con las emisiones de CO_2 en nueve economías asiáticas en el periodo de 1996 al 2018, determinan que una política monetaria expansiva promueve la inversión en energías limpias y estas a su vez incentivan la disminución de las emisiones de CO_2 , llegando a este resultado mediante pruebas de cointegración para una relación de largo plazo.

Desde la visión del impacto económico, el papel de la IED se vuelve clave no solo para entender sus efectos en el crecimiento económico de un país, sino también para entender el grado de impacto que tiene en la gene-

ración de emisiones de CO_2 tanto para países desarrollados como para países en vías de desarrollo, ya que, dependiendo del grado de desarrollo de un país, los efectos tenderán a ser diferentes. Gómez, Villicaña y Gómez (2024) examinan el impacto de la IED estadounidense, el PIB, la apertura comercial y el consumo de energías renovables en las emisiones de CO_2 en México durante el periodo 1990-2019 utilizando herramientas econométricas, determinando una relación positiva entre la IED de EUA y la generación de emisiones en México. Hernández et al. (2024) evalúan el impacto de la IED sobre el empleo y el cambio climático en Colombia mediante el uso de técnicas econométricas determinando que haya una coincidencia en el largo plazo que sea significativa y a su vez positiva entre la IED y las emisiones de CO_2 . Khan, Rana y Ghardallou (2023) argumentan que, en las economías en vías de desarrollo con bajos niveles de escolarización, las entradas de IED van acompañadas de tecnologías que contaminan. No obstante, cuando los niveles de educación superan ciertos umbrales, las entradas de IED pueden reducir las emisiones de CO_2 . Para validar la hipótesis utilizan un panel de datos de 108 países en desarrollo en el periodo 2000-2016 en donde, a través del método VECM confirman el nexo entre la IED y las emisiones de CO_2 . Hannesson (2022) estima cómo se relaciona la intensidad de las emisiones de CO_2 con el PIB per cápita a través del análisis de la Curva de Kuznets, concluyendo que, en muchos países pobres y medianamente ricos, la intensidad de las emisiones de CO_2 han aumentado desde 1990, mientras que en los países ricos, estas emisiones han disminuido. Ortiz-Paniagua y Gómez (2021) analizan la relación entre el desarrollo económico y calidad medioambiental a través del planteamiento de la Curva de Kuznets medioambiental para 19 países latinoamericanos en el periodo de 1970 al 2016, en donde la hipótesis se cumple, entendiendo que al crecer la actividad económica, las emisiones de CO_2 también lo hacen.

Desde una visión del impacto social, el fomentar la investigación y desarrollo ha brindado oportunidades para que los países puedan especializarse y proyectar un crecimiento de largo plazo. Hoy en día los esfuerzos en el gasto en I+D se centran en la creación e innovación de tecnología que permita mitigar los estragos medioambientales causados por las emisiones descontroladas de CO_2 en todo el mundo. Recientemente se han desarrollado algunos estudios que permiten analizar la relación entre la I+D y la

degradación ambiental, tal es el caso de Ang (2009), quien estudia la relación entre la transferencia de tecnología, la intensidad de la investigación y las emisiones de CO_2 para el caso de China. A través de técnicas econométricas de series de tiempo utilizando un periodo de 1953-2003, el estudio reveló que la transferencia tecnológica y la intensidad de la investigación están negativamente correlacionadas con las emisiones de CO_2 . Guardado y Cruz (2024) analizan el impacto del gasto en investigación y desarrollo en el consumo de energías renovables en las naciones pertenecientes a las BRICS, al grupo de los siete, y México en los años 1996-2020 mediante el uso de modelos econométricos de datos de panel. Dentro de los hallazgos, se encuentra una relación de causalidad bidireccional entre el gasto en I+D y las emisiones de CO_2 en el corto plazo. Tang y Tan (2013), por su parte, examinaron cómo la innovación tecnológica influye en el consumo de electricidad para el caso de Malasia en el periodo de 1970-2009. Este estudio se basa en el uso de patentes como indicador indirecto de la innovación técnica. Los resultados obtenidos a través de la técnica econométrica ARDL muestran que la innovación tecnológica ha mitigado significativamente el consumo de electricidad. Además, los resultados de causalidad de Granger revelan que el avance tecnológico influye en el consumo de electricidad. Khan et al. (2024) examinan la importancia de la innovación tecnológica, la I+D y el consumo de energías renovables en la mitigación de las emisiones de CO_2 . Para ello analizan los vínculos entre las variables de los países miembros del G7 en el periodo de 1990-2020. Los resultados obtenidos mediante la técnica econométrica CS-ARDL a largo y corto plazo señalan que la innovación tecnológica y la I+D contribuyen a la reducción de las emisiones de CO_2 .

De acuerdo con la literatura revisada con anterioridad, es sustancial analizar el comportamiento de variables como el consumo de energías renovables, el gasto en investigación y desarrollo, las entradas de inversión extranjera directa y el PIB per cápita y su incidencia en las emisiones de CO_2 para el caso de los principales países de Latinoamérica.

Materiales y método

Datos

El presente estudio se realizó a partir de datos anuales teniendo un periodo de 1996 al 2021. Para la selección de los principales países latinoamericanos, se tomó como base su PIB al año 2024 de acuerdo a información obtenida del Fondo Monetario Internacional (2025). Los países seleccionados por lo tanto fueron: México, Brasil, Argentina, Colombia, Chile y Perú. A partir de los datos anuales, se construyó un conjunto de panel de datos balanceado para la aplicación del análisis empírico. El periodo de tiempo señalado se sustenta en su inicio, en el año de creación de la Secretaría de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático hasta el último año (2021) proporcionado por la base de datos.

Las variables elegidas para este estudio están categorizadas de la siguiente manera: emisiones de CO_2 (CO_2) medido como las emisiones de dióxido de carbono per cápita $\text{tCO}_2\text{e/cápita}$; consumo de energías renovables (CRE) medido como el porcentaje de la energía total consumida; producto interno bruto per cápita (PIBPC) medidos a precios constantes en dólares 2015; gasto en investigación y desarrollo (I+D) medido como porcentaje del PIB y por último entradas netas de inversión extranjera directa (IED) medido como porcentaje del PIB. Los datos de las variables seleccionadas fueron obtenidos del World Development Indicator del Banco Mundial (2025).

Metodología empírica

El modelo econométrico que se plantea a partir de un panel de los principales países latinoamericanos busca argumentar que CRE, PIBPC, IED y I+D tienen un efecto significativo de largo plazo en la generación de las emisiones de CO_2 . Este modelo tiene su fundamento en el modelo teórico de impacto ambiental IPAT, el cual es comúnmente usado para el análisis empírico de la contaminación medioambiental (Holdren, 2018; Danish, Özcan y Ulucak, 2021; y O'Hara, 2025).

Por lo tanto, a continuación se muestra el modelo de la ecuación (1) para llevar a cabo el análisis empírico:

$$CO_2it = \beta_0it + \beta_1i CERit + \beta_2i I\&Dit + \beta_3i IEDit + \beta_4i PIBPCit + eit \quad (1)$$

en donde las emisiones de CO_2 están en función de CRE, PIBPC, IED y de I+D respectivamente, i hace referencia al corte transversal de los países seleccionados, t se infiere como el periodo de tiempo que se ha establecido, y por último se infiere como el término de error en el modelo.

Dentro de la metodología de datos panel, es importante iniciar examinando la existencia de dependencia de sección cruzada entre las variables en todos los países seleccionados, por lo que en este estudio se realizan pruebas como la de Pesaran CD (2004) con la finalidad de saber si en su mayoría las variables muestran alguna inconsistencia. Después, se realiza la prueba de segunda generación de raíz unitaria de Pesaran CD (2007), la cual permite generar resultados robustos dada la existencia de dependencia de sección cruzada en los datos seleccionados dentro del panel.

Una vez realizadas las pruebas de dependencia cruzada y de raíz unitaria, se indaga en la relación de equilibrio a largo plazo entre las variables de la ecuación (1) a partir del uso de pruebas de cointegración como la de Kao (1999) y Fisher-Johansen (1991), las cuales permiten superar el problema de dependencia de sección cruzada dentro de la técnica econométrica de panel de datos. Una vez que se identifica que sí existe un determinado grado de cointegración de las variables en el largo plazo se debe proceder a realizar un estudio respecto a la estimación de los coeficientes.

El método más común es a través de los mínimos cuadrados ordinarios (OLS), sin embargo, de acuerdo con Pedroni (2001) y Kao y Chiang (2001), cuando se trata de estimar un panel de datos esta técnica tiende a ser sesgada y, por lo tanto, se producen estimaciones que tienden a no ser consistentes. Para solucionar el problema de las estimaciones inconsistentes, se han desarrollado diversos métodos para su aplicación en datos panel en donde se puede llevar a cabo la estimación de las relaciones de cointegración, tal es el caso de los mínimos cuadrados completamente modificados (FMOLS, por sus siglas en inglés), el cual produce una estimación de los coeficientes mucho más consistente. Dentro de las principales característi-

cas del estimador FMOLS se encuentra que este tiende a generar un comportamiento adecuado para muestras pequeñas, así como para controlar la endogeneidad en el caso de sus regresores, lo cual le da una mayor robustez al modelo. Otra característica radica de igual manera en confirmar los hallazgos respecto a las elasticidades de largo plazo sobre las variables.

Por último, se aplica la prueba de causalidad de Dumitrescu y Hurlin (2012), quienes proponen un método para analizar la causalidad entre variables en modelos heterogéneos para el caso de datos de panel. Este punto ha sido clave en el estudio econométrico para entender la heterogeneidad en secciones cruzadas. Como resultado de la aplicación de esta prueba de causalidad se van a derivar dos alternativas de hipótesis, la primera señala la existencia de una relación causal dada entre dos variables (relación bidireccional) y la segunda donde solo existe relación causal provocada por una variable (relación unidireccional).

Las estadísticas resumidas específicas de cada país para el periodo 1996-2021 se presentan a continuación en la tabla 6.1:

Tabla 6.1. *Resumen de estadísticas promedio por país*

<i>Variable/País</i>	<i>México</i>	<i>Brasil</i>	<i>Argentina</i>	<i>Colombia</i>	<i>Chile</i>	<i>Perú</i>
CO ₂	4.019	2.184	4.044	1.591	4.104	1.398
CRE	10.573	45.150	9.492	30.050	29.135	33.381
PIBPC	9559.654	7989.063	12038.856	5148.376	11108.721	4815.273
IED	2.607	3.171	2.277	3.613	6.312	3.711
I+D	0.354	0.951	0.496	0.191	0.207	0.086

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

Las estadísticas muestran que el país con mayores emisiones de CO₂ per cápita de los principales países en Latinoamérica es Chile (4.104), seguido de Argentina (4.044), México (4.019), Brasil (2.184), Colombia (1.591) y Perú (1.398). Respecto al consumo de energías renovables, el país con mayor consumo de este tipo de energías es Brasil (45.150), seguido de Perú (33.381), Colombia (30.050), Chile (29.135), México (10.573) y en último lugar Argentina (9.492). Respecto a los países con mayor PIB per cápita se encuentran Argentina (12038.856), Chile (11108.721), México (9559.654),

Brasil (7989.063), Colombia (5148.376) y Perú (4815.273). Respecto a los países con mayor inversión extranjera directa se encuentran en orden descendente Chile (6.312), Perú (3.711), Colombia (6.312), Brasil (3.171), México (2.607) y Argentina (2.277). En términos de investigación y desarrollo, el país que más porcentaje le dedica respecto al PIB es Brasil (0.951), seguido de Argentina (0.496), México (0.354), Chile (0.207), Colombia (0.191) y Perú (0.086). En general, las estadísticas previamente señaladas por país sugieren que existe una diferencia significativa entre las variables y entre los principales países latinoamericanos.

Las estadísticas descriptivas del panel de datos se muestran a continuación en la tabla 6.2:

Tabla 6.2. *Estadísticas de resumen del panel*

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>Desv. Est.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
CO ₂	2.890	1.241	0.999	4.960
CRE	26.297	12.944	7.700	50
PIBPC	8443.324	3061.403	3186.901	14053.874
IED	3.615	2.018	0.329	11.910
I+D	0.381	0.348	0.073	1.371

Nota: la medición de las variables es a como se muestra en la tabla 6.1.

Fuente: creado a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews

La tabla 6.2 muestra que las emisiones de CO₂ per cápita son de 2 890 tCO₂e/cápita en los países seleccionados. El consumo de energía renovables es de un promedio de 26.297% del consumo total de energía. De igual manera, el promedio del PIB per cápita, IED e I+D son del 8443.324 USD, 3.615 % del PIB y 0.381% del PIB respectivamente. Lo anterior demuestra la importancia que tienen las variables para la presente investigación y por qué deben de aumentarse aún más para aprovechar sus beneficios potenciales.

Resultados y discusión

Para comenzar la aplicación empírica, se explora la dependencia de sección cruzada para cada una de las variables seleccionadas en el modelo. Para esto, se aplica la prueba de Pesaran CD (2004) en donde la hipótesis señala que no debe existir dicha dependencia entre todas las variables, por lo cual, lo que se busca es rechazar la hipótesis. Esto se muestra a continuación:

Tabla 6.3. *Prueba de Pesaran CD para dependencia de sección cruzada*

<i>Variable</i>	<i>Estadístico CD</i>	<i>Valor P</i>
CO ₂	8.578***	0.00
CRE	1.789*	0.07
PIBPC	16.538***	0.00
IED	0.49	0.62
I+D	7.76***	0.00

Nota: *** y * muestran un rechazo de la hipótesis nula en un 1% y 10% en sus niveles.

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

El analizar la dependencia de sección cruzada se ha vuelto un aspecto relevante que debe de analizarse previo a aplicar cualquier prueba de raíz unitaria en un panel de datos. Los resultados obtenidos en la tabla 6.3 muestran el rechazo de la hipótesis nula de dependencia de sección cruzada (CO₂, PIBPC e I+D al 1% y CRE al 10%), excepto para el caso de la variable IED, por lo que es necesario entonces, para este caso aplicar pruebas de raíz unitaria lo suficientemente consistentes.

Dada la evidencia realizada con la prueba de dependencia de sección cruzada, se emplea a continuación la prueba de raíz unitaria de segunda generación de Pesaran CD (2007). Esta prueba se caracteriza por contemplar la dependencia de sección cruzada al determinar el orden de integración de las variables. De igual manera, esta prueba mantiene la hipótesis nula como raíz unitaria. A continuación se muestran los resultados de la aplicación de la prueba:

Tabla 6.4. *Prueba de raíz unitaria de 2da generación Pesaran*

<i>Variable</i>	<i>Parámetros determinísticos</i>	<i>PESCADF</i>
CO ₂	CT	0.30
ΔCO ₂	C	0.00***
CRE	CT	0.16
ΔCRE	C	0.00***
PIBPC	CT	0.11
ΔPIBPC	C	0.00***
IED	CT	0.00***
ΔIED	C	0.00***
I+D	CT	0.85
ΔI+D	C	0.00***

Nota: C refiere a la constante. *** muestran un rechazo de la hipótesis nula en un 1% en sus niveles.

Fuente: creada a partir de datos del BM, con análisis en Eviews.

De acuerdo con la tabla 6.4, los resultados muestran que la hipótesis nula no se rechaza cuando las variables están en niveles, excepto para IED (rechazo al 1%), sin embargo, la evidencia de las variables en primeras diferencias confirma que la hipótesis nula se rechaza firmemente de manera uniforme al 1%. Lo anterior ratifica que todas las variables se tomarán en primeras diferencias.

Dada la evidencia de las pruebas de raíz unitaria para el panel de datos, se emplea, por consiguiente, un análisis de cointegración para datos panel con el fin de examinar la asociación que pudieran tener las variables seleccionadas para el estudio en el largo plazo. Para esto se aplican dos pruebas para darles mayor robustez a los resultados, la prueba de Kao (1999) y la de Fisher-Johansen (1991), estas se muestran a continuación:

Tabla 6.5. *Prueba de Kao para cointegración*

<i>Prueba</i>	<i>t-Statistic</i>
ADF	-1.97**
Valor - p	0.02

Nota: ** muestra un rechazo de la hipótesis nula en un 5% en sus niveles.

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

La tabla 6.5 muestra que la hipótesis nula para la prueba de Kao de no cointegración se rechaza al 5% del nivel de significancia, dando a entender, por lo tanto, que sí existe una relación entre las variables seleccionadas de largo plazo. Para validar lo anterior mencionado se aplica la prueba de Fisher-Johansen:

Tabla 6.6. Resultados de la prueba de cointegración Fisher-Johansen

Hipótesis nula	Prueba de Trace	Prueba de Max- Eigen
$R = 0$	135.0***	78.82 ***
$R \geq 1$	70.78***	30.57***
$R \geq 2$	48.41***	26.83***
$R \geq 3$	33.39***	25.15**
$R \geq 4$	30.02***	30.02***

Nota: *** y ** muestran un rechazo de la hipótesis nula en un 1% y un 5% en sus niveles.

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

La tabla 6.6 con la prueba de Fisher-Johansen arroja resultados en donde se puede observar que existe cointegración para todas las variables cuando $R = 0$, $R \geq 1$, $R \geq 2$ y $R \geq 3$, en donde al 1 y 5% de significancia se rechaza la hipótesis nula.

Los resultados obtenidos tanto en la prueba de Kao como de Fisher-Johansen demuestran que existe una relación de largo plazo para cada una de las variables (CRE, PIBPC, IED e I+D) con las emisiones de CO₂.

Para estimar los coeficientes del modelo propuesto a través de datos panel se aplica el estimador de FMOLS, el cual permite obtener estimadores de coeficientes con una distribución normal y asintóticamente imparcial, lo cual, como se mencionó previamente, es un estimador ideal para el análisis de un panel de datos.

Tabla 6.7. *Estimador FMOLS con respecto de CO₂*

Variable	Coefficientes FMOLS	Valor-p
CRE	-0.014***	0.00
PIBPC	0.000***	0.00
IED	0.062**	0.03
I+D	-0.393**	0.02

Nota: *** y ** muestran un rechazo de la hipótesis nula en un 1% y un 5% en sus niveles.

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

Los resultados obtenidos en la tabla 6.7 tras la aplicación del estimador FMOLS arrojan que, a través de una estimación agrupada como método de panel, todas las variables resultan ser significativas al 1% (CRE, PIBPC) y 5% (IED y I+D). Los signos de los coeficientes señalan que CRE e I+D tienen un efecto negativo y significativo con respecto a las emisiones de CO₂, mientras que PIBPC y IED tienen un efecto positivo y significativo con respecto a este. Esto significa que un incremento de CRE y de I+D provoca una disminución de las emisiones de CO₂, mientras que un incremento de PIBPC y de IED provoca un aumento de las emisiones de CO₂.

El que un incremento de consumo de energías renovables y el incremento de un mayor porcentaje del PIB destinado a la investigación y desarrollo generen una disminución de emisiones de CO₂ es sinónimo de que los principales países latinoamericanos aún se encuentran muy rezagados en temas del fortalecimiento a la transición de energías más limpias como lo ha estado haciendo la mayoría de los desarrollados. Este hecho va de la mano, como se mostró en la revisión literaria, que para que los países latinoamericanos puedan crecer en términos económicos, van a necesitar atraer IED que incremente sus niveles de PIB independientemente de la política ambiental que manejen y ser más flexibles en aplicar este tipo de políticas medioambientales.

Se examinan por último las causalidades a corto plazo que pueden existir entre las variables a través del método de Hurlin y Dumitrescu (2012). Esta técnica robusta permite estimar las causalidades a corto plazo entre las variables, ya que considera la heterogeneidad entre las secciones de corte transversal. La prueba asume de igual manera que todos los coeficientes son diferentes entre las secciones transversales, proporcionando resultados fia-

bles sobre la dirección de la causalidad entre las variables al corto plazo. Los resultados de la prueba se muestran a continuación:

Tabla 6.8. Resultados de la prueba de causalidad heterogénea Hurlin-Dumitrescu

<i>hipótesis nula</i>	<i>Prueba wald</i>	<i>Prob</i>	<i>Decisión</i>
CRE no causa homogéneamente a CO ₂	3.71	0.12	Acepta
CO ₂ no causa homogéneamente a CRE	7.17***	0.00	Rechazo
I&D no causa homogéneamente a CO ₂	5.39***	0.00	Rechazo
CO ₂ no causa homogéneamente a I&D	4.64**	0.01	Rechazo
IED no causa homogéneamente a CO ₂	1.84	0.70	Acepta
CO ₂ no causa homogéneamente a IED	1.14	0.28	Acepta
PIBPC no causa homogéneamente a CO ₂	7.68***	0.00	Rechazo
CO ₂ no causa homogéneamente a PIBPC	4.58**	0.02	Rechazo
I&D no causa homogéneamente a CRE	6.02***	0.00	Rechazo
CRE no causa homogéneamente a I&D	4.27**	0.04	Rechazo
IED no causa homogéneamente a CRE	3.94*	0.09	Acepta
CRE no causa homogéneamente a IED	1.4	0.42	Acepta
PIBPC no causa homogéneamente a CRE	12.02***	0.00	Rechazo
CRE no causa homogéneamente a PIBPC	5.05***	0.00	Rechazo
IED no causa homogéneamente a I&D	1.33	0.38	Acepta
I&D no causa homogéneamente a IED	5.07***	0.00	Rechazo
PIBPC no causa homogéneamente a I&D	2.93	0.49	Acepta
I&D no causa homogéneamente a PIBPC	3.95*	0.09	Rechazo
PIBPC no causa homogéneamente a IED	2.81	0.57	Acepta
IED no causa homogéneamente a PIBPC	2.01	0.82	Acepta

Nota: ***, ** y * muestran un rechazo de la hipótesis nula en un 1%, en 5% y en 10% en sus niveles, respectivamente.

Fuente: creada a partir de datos del Banco Mundial, con análisis en Eviews.

La prueba de causalidad en la tabla 6.8 muestra que hay existencia de causalidad tanto bidireccional como unidireccional, la relación bidireccional sucede entre I+D y las emisiones de CO₂, entre PIBPC y las emisiones de CO₂, entre la I+D y CRE y entre PIBPC y CRE. La relación unidireccional se da entre CO₂ y CRE, entre IED y CRE, entre I+D y IED, y entre I+D y PIBPC.

A través de esta prueba, se sustentan los resultados obtenidos a través del estimador FMOLS. El que existan relaciones bidireccionales refleja el grado de intensidad de relación entre las variables. Es importante destacar que una variación de la investigación y, desarrollo, ya sea que incremente o disminuya, afectará tanto de forma positiva como negativa a las emisiones de CO_2 y viceversa. El PIB per cápita se vuelve clave, ya que conforme mayores ingresos va obteniendo la población, estos se van reflejando en un incremento en las emisiones de CO_2 , esto podría explicarse debido a que, en Latinoamérica, por ejemplo, no existe una cultura todavía fortalecida respecto al uso de energías limpias, así mismo la oferta de bienes con estas características suele ser limitada, poco diferenciada y con elevados precios para su adquisición, por lo tanto la población continúa adquiriendo bienes relacionados con las energías fósiles tanto para su funcionamiento como para su creación. La relación bidireccional encontrada entre el consumo de energías renovables y la investigación y desarrollo fortalece la importancia de dedicar un porcentaje cada vez mayor del PIB a este rubro.

Conclusiones

En Latinoamérica, el tema del calentamiento global causado principalmente por las grandes cantidades de emisiones de CO_2 ha empezado a cobrar importante relevancia en los últimos años no solo para los organismos internacionales, como es el caso de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sino también en las agendas de los políticos, empresarios, funcionarios gubernamentales y, en cierta manera, también en la sociedad en general. Derivado de esta preocupación, los responsables tomadores de decisiones en los principales países latinoamericanos han estado implementado diversas estrategias en materia de política energética con el fin de reducir principalmente las emisiones de CO_2 . De igual manera, los tomadores de decisiones han procurado destinar entradas de IED a proyectos de energías renovables y así procurar reducir la demanda de energías fósiles. Otra de las decisiones ha sido dedicar una parte del gasto en investigación y desarrollo esperando que se generen innovaciones en tecnologías energéticas que mitiguen las emisiones de CO_2 .

El presente estudio, en este sentido, planteó hacer un diagnóstico de la generación de las emisiones de CO_2 en los principales países de Latinoamérica a partir del estudio de variables, como el consumo de energías renovables, la inversión extranjera directa, el gasto en investigación y desarrollo y el PIB per cápita. Para ello, el análisis empírico consideró datos anuales de 1996 al 2021 y empleó diversas metodologías econométricas robustas de análisis de datos de panel.

Respecto a los hallazgos empíricos, se confirmó la existencia significativa de la relación de equilibrio de largo plazo entre las variables seleccionadas. También, los resultados mostraron que el incremento del consumo de energías renovables como el incremento del gasto en I+D promueven la disminución de las emisiones de CO_2 . En este sentido, se destaca la relación de causalidad bidireccional de las emisiones de CO_2 con ambas variables, resaltando la estrecha relación que existe entre ellas. Por el contrario, un incremento tanto del PIBPC como de la IED promueve de manera positiva la generación de emisiones de CO_2 , esto causado por las características económicas y de política industrial que tienen estos países para fomentar su crecimiento económico, sin embargo, es importante tener en cuenta que esto ha ido cambiando en los últimos años de manera gradual conforme los países han hecho conciencia sobre la relevancia del cambio climático para el desarrollo de las sociedades.

Por lo anterior, se sugiere implementar políticas más efectivas que permitan incrementar el gasto de la investigación y desarrollo con el fin de generar innovaciones estratégicas en términos de la eficiencia energética y permitan un mejoramiento en el control de la generación de emisiones. Se sugiere llevar a cabo programas estratégicos sociales para que las personas de estos países sean cada vez más conscientes sobre el cuidado del medio ambiente y lo lleven a la práctica en su día a día. En cuanto a las entradas de inversión extranjera directa, se sugiere que estas estén encaminadas hacia la industria de las energías limpias de manera estratégica con el fin de crear un efecto multiplicador para reducir las emisiones de CO_2 y avanzar hacia un crecimiento económico sostenible.

El fortalecer y considerar lo antes propuesto en materia de políticas más efectivas encaminadas a disminuir las emisiones de CO_2 permitirá a los principales países de Latinoamérica impactar directamente en los Objetivos de

Desarrollo Sostenible, como es el caso del ODS 13, el cual se encarga de las acciones por el clima y el mejoramiento de este a través de la mitigación del cambio climático entendiendo que, al reducir las emisiones de CO₂, se estaría reduciendo y retrasando el calentamiento global y sus efectos, como lo son el surgimiento de fenómenos meteorológicos extremos, el aumento del nivel del mar y la acidificación de los océanos a nivel global. Otros ODS a los que se impacta de manera directa y de forma positiva son el ODS 11, responsable del desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles, el ODS 14, encargado del mejoramiento de la vida submarina, y el ODS 15, responsable de la vida de ecosistemas terrestres.

Por último, es importante señalar que tanto los gobiernos como el sector privado deben de generar una sinergia que les permita trazar en conjunto la ruta para lograr los objetivos previamente señalados en beneficio del crecimiento y desarrollo de las economías de Latinoamérica con miras a las generaciones futuras.

Referencias

- Ang, J. (2009). CO₂ emissions, research and technology transfer in China. *Ecological Economics*, 68(10). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.002>
- Apergis, N., Payne, J., Menyah, K., y Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>
- Asturias-Schaub, L., y Gil-Alana, L. (2023). CO₂ emissions in Latin América: a time series perspective based on fractional integration. *Environ Sci Pollut Res*, 30. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29987-4>
- Banco Mundial (BM). (2025). DataBank, World Development Indicators. World Bank Group. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#>
- Ciocca, D., y Delgado, G. (2017). The reality of scientific research in Latin América; an insider's perspective. *Cell Stress and Chaperones*, 22(6). <https://doi.org/10.1007/s12192-017-0815-8>
- Danish, Özcan y Ulucak, R. (2021). An empirical investigation of nuclear energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emission in India: Bridging IPAT and EKC hypotheses. *Nuclear Engineering and Technology* 53(6). <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.12.008>
- Dumitrescu, E-I., y Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modeling*, 29(4). <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Fondo Monetario Internacional (FMI). (2025). IMF Data Mapper, GDP, current prices.

- <https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/MEX/WE>
- Gómez, M., Villicaña, A., y Gómez, R. (2024). Impacto de la Inversión Extranjera Directa de Estados Unidos de América en la Degradación Ambiental en México, 1990-2019. *Cimexus*, 19(1). <https://doi.org/10.33110/cimexus190101>
- Guardado, E., y Cruz, F. (2024). Consumo de energías renovables y sus principales determinantes en países desarrollados y emergentes, 1996-2020. *FACE: Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 24(3), 103-116. <https://doi.org/10.24054/face.v24i3.3324>
- Hannesson, R. (2022). Is There a Kuznets Curve for CO₂-Emissions? *Biophys Econ Sust*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s41247-022-00099-w>
- Hernández, A., Jiménez, D., Saldarriaga, A., y Moisa, L. (2024). Impacto de la inversión extranjera directa sobre el cambio climático y el empleo en Colombia, reflexiones en el marco del desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 32(2). <https://doi.org/10.18359/rfce.7000>
- Holdren, J. (2018). Brief History of IPAT. *The Journal of Population and Sustainability*, 2(2). <https://doi.org/10.3197/jps.2018.2.2.66>
- International Energy Administration (IEA). (2023). Latin America Energy Outlook 2023. IEA. <https://www.iea.org/reports/latin-América-energy-outlook-2023>
- Johansen, S. (1991). Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica*, 59(6). <https://doi.org/10.2307/2938278>
- Kao, C. (1999). Spurious Regression and Residual Based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Econometrics*, 90(1). [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Kao, C., y Chiang, M.H. (2001). On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. En B. H. Baltagi, T. B. Fomby y R. Carter (coord). *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels (Advances in Econometrics*, vol. 15) (pp. 179-222). Emerald Group Publishing Limited.
- Kaya, M., Ozcan, M., Afşar, B., y Yıldız, Y. (2025). The Effect of Nuclear Energy Use and Military Expenditures on The Formation of the Environmental Kuznets Curve: A Study for BRICS Countries. *Sosyoekonomi*, 33(64). <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2025.02.10>
- Khan, M., Rana, A., y Ghardallou, W. (2023). FDI and CO₂ emissions in developing countries: the role of human capital. *Nat Hazards*, 117. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05949-4>
- Khan, S., Yuan, H., Yahong, W. y Xu, Q. (2024). Pathways to carbon neutrality in G7 economies: The role of technology-innovation and RyD in reducing CO₂ emissions. *Gondwana Research*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.10.015>
- Naciones Unidas (ONU). (2025). Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- O'Hara, S. (2025). Living in the Age of Market Economics: An Analysis of Formal and Informal Institutions and Global Climate Change. *World*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/world6010035>

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2025). Cronología de Negociaciones sobre el Clima. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cronologia-de-negociaciones-sobre-el-clima/>
- Ortiz-Paniagua, C., y Gómez, M. (2021). Crecimiento económico y calidad ambiental en América Latina, perspectiva desde Kuznets, 1970-2016. *Econ: teor. pract*, 55. <https://doi.org/10.24275/etypuam/ne/552021/ortiz>
- Pedroni, P. (2001). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. En B.H. Baltagi, T.B. Fomby y R. Carter (coord.), *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels (Advances in Econometrics*, vol. 15) (pp. 93-130). Emerald Group Publishing Limited.
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels. Working Paper in Economics. <https://doi.org/10.17863/CAM.5113>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2). <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO₂ emissions and oil prices in the g7 countries. *Energy Economics*, 31(3). <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Tang, C., y Tan, E. (2013). Exploring the nexus of electricity consumption, economic growth, energy prices and technology innovation in Malaysia. *Applied Energy*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.061>
- Williams, K. (2015). Foreign direct investment in Latin America and the Caribbean: an empirical analysis. *Latin American Journal of Economics*, 52(1). <https://dx.doi.org/10.7764/LAJE.52.1.57>
- World Meteorological Organization (WMO). (2021). State of the climate in Latin America and the Caribbean 2021. <https://library.wmo.int/records/item/58014-state-of-the-climate-in-latinAmerica- and- the- caribbean-2021>
- World Meteorological Organization (WMO). (2024). El Nino and climate change impacts slam Latin America and Caribbean in 2023. <https://wmo.int/news/media-centre/el-nino-and-climate-change-impacts-slam-latin-América-and-caribbean-2023>
- Zhang, D., Wang, Y., y Peng, X. (2022). Carbon Emissions and Clean Energy Investment: Global Evidence. *Emerging Markets Finance and Trade*, 59(2). <https://doi.org/10.1080/1540496X.2022.2099270>