



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y ADMINISTRATIVAS
CARRERA DE ECONOMÍA

Emisiones de CO_2 e innovación en América Latina

Trabajo de Titulación para optar al título de Economista

Autor

Cujano Borja, Jefferson Fabricio

Tutor

Patricia Hernández Medina, PhD.

Riobamba, Ecuador. 2025

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Jefferson Fabricio Cujano Borja, con cédula de ciudadanía 1805302690, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: Emisiones de CO_2 e innovación en América Latina, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a 27 de octubre de 2025.



Jefferson Fabricio Cujano Borja

C.I: 1805302690



DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

En la ciudad de Riobamba a los 27 días del mes de octubre del 2025, quien suscribe **Eco. Patricia Hernández PhD**, luego de haber revisado el informe final del trabajo de titulación presentado por el **Sr. Jefferson Fabricio Cujano Borja** portadora de la cedula de ciudadanía **1805302690**, estudiante de la carrera de Economía y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite **EL ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN** titulado “**Emisiones de CO2 e innovación en América Latina**” por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes

Eco. Patricia Hernández PhD

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Emisiones de CO_2 e innovación en América Latina, presentado por Jefferson Fabricio Cujano Borja, con cédula de identidad número 1805302690, bajo la tutoría de Patricia Hernández Medina, PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 27 de octubre del 2025.

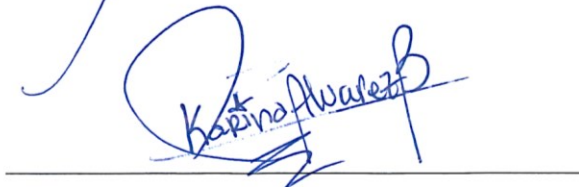
Presidente del Tribunal de Grado

Eco. Sánchez Cuesta Patricio Alejandro,
PhD./Mgs.

A large, stylized handwritten signature in blue ink, likely belonging to Patricio Alejandro Sánchez Cuesta, is written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado

Eco. Álvarez Basantes Karina Alexandra
MBA.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Karina Alexandra Álvarez Basantes, is written over a horizontal line.

Miembro del Tribunal de Grado

Eco. Carrasco Salazar Verónica Adriana
Mgs.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Verónica Adriana Carrasco Salazar, is written over a horizontal line.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.17

VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Jefferson Fabricio Cujano Borja** con CC **1805302690**, estudiante de la Carrera de **ECONOMÍA**, Facultad DE **CIENCIAS POLÍTICAS Y ADMINISTRATIVAS**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Emisiones de CO₂ e innovación en América Latina**", cumple con el 1% de similitud y el 10% de textos potencialmente generados con inteligencia artificial, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 15 de octubre de 2025.



Para más información por favor:
PATRICIA HERNÁNDEZ MEDINA
Validar documento en: [RamusEC](#)

PhD. Patricia Hernández Medina
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación a todas las personas que estuvieron a mi lado durante este camino, pero muy especialmente a quienes han sido mi mayor inspiración y fortaleza: mis padres, Fausto y Rosa.

Gracias por ser mi guía, por enseñarme a luchar por mis sueños, por mostrarme con su ejemplo que no hay meta imposible cuando se trabaja con amor, disciplina y fe. Todo lo que soy y lo que he logrado es gracias a ustedes, que lo han dado todo sin pedir nada a cambio

Finalmente, quiero agradecer profundamente a todas las personas que formaron parte de este proceso con sus mensajes y apoyo diario fueron un factor importante para poder seguir y salir adelante.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme salud y sabiduría durante todos estos años de estudio. Por darme la dicha de tener una familia maravillosa, por siempre rodearme de personas que buscan lo mejor para mí. Me han enseñado que los sueños por más difíciles que sean si se pueden cumplir.

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de Chimborazo por abrirme las puertas y brindarme sus enseñanzas y protección durante todos estos años. Llegué siendo un joven lleno de muchos sueños y hoy me despido como un gran profesional. De la misma manera con un profundo cariño quiero agradecer a mi tutora de tesis Ec. Patricia Hernández PhD. Por sus enseñanzas y su paciencia durante este proceso.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ABREVIATURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Antecedentes	17
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Justificación	22
1.4 Objetivos.....	23
1.4.1 Objetivo General	23
1.4.2 Objetivos Específicos	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Estado del arte.....	24
2.2 Marco teórico	26
2.2.1 Dimensión ambiental del desarrollo sostenible.....	26

2.2.2	Emisiones de CO₂	36
2.2.3	Innovación para la sostenibilidad	37
2.2.4	Relación entre innovación y emisiones de CO ₂	39
2.2.5	Evidencia empírica de la relación entre innovación y dimensión ambiental (emisiones de Co ₂)	46
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.		49
3.1	Tipo de Investigación.	49
3.2	Diseño de investigación.....	49
3.3	Técnicas de recolección de datos	50
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	51
3.5	Hipótesis de ser el caso.....	51
3.6	Métodos de análisis	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
4.1	Resultados y discusión.....	57
4.1.1	Evolución de las emisiones de CO ₂ y la innovación.....	57
4.1.2	Modelización econométrica	60
4.2	Discusión	66
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		69
5.1	Conclusiones	69
5.2	Recomendaciones.....	71
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	73
7.	Anexos	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices y dimensiones del bienestar	27
Tabla 2. Resumen de la conceptualización de las variables, indicadores y formas de medida	53
Tabla 3. Modelo de Efectos Fijos	60
Tabla 4. Modelo de Efectos Aleatorios.....	63
Tabla 5 . Modelo FGLS (para corrección de heterocedasticidad y autocorrelación)	65
Tabla 6. Test de Heterocedasticidad	95
Tabla 7 . Test de Autocorrelación.....	95
Tabla 8 . Test de Hausman	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones del desarrollo sostenible y sus relaciones.....	28
Figura 2. Promedio anual de Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) de América Latina	57
Figura 3. Promedio anual de Innovación: Conocimiento y resultados tecnológicos de América Latina	58
Figura 4. Promedio anual de Innovación: Resultados creativos de América Latina	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos	88
Anexo 2. Pruebas realizadas a los modelos	95

ABREVIATURAS

AIE: Agencia Internacional de Energía

ARDL: Modelos Autorregresivos de Rezagos Distribuidos

BRICS: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica

CAC: Captura y Almacenamiento de Carbono

CADF: Raíz unitaria de Dickey-Fuller aumentada (del inglés: Cross-sectionally Augmented Dickey-Fuller)

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CO₂: Dióxido de Carbono

EKC: Curva Ambiental de Kuznets (del inglés: Environmental Kuznets Curve)

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

FE: Efectos Fijos (en modelos econométricos)

FGLS: Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (del inglés: Feasible Generalized Least Squares)

FMD: Desarrollo del Mercado Financiero (del inglés: Financial Market Development)

G6: Grupo de los seis

GEI: Gases de Efecto Invernadero

I+D: Investigación y Desarrollo

IB: Índice de Bienestar

IBE: Índice de Bienestar del Ecosistema

IBESS: Índice de Bienestar/Estrés

IBH: Índice de Bienestar Humano

IED: Inversión Extranjera Directa

IDH: Índice de Desarrollo Humano

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

IRENA: Agencia Internacional de Energías Renovables

IRP: Panel Internacional de Recursos

ISO: Organización Internacional de Normalización

MENA: Oriente Medio y Norte de África (del inglés: Middle East and North Africa)

OEA: Organización de Estados Americanos

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PaaS: Producto como Servicio (del inglés: Product as a Service)

PIB: Producto Interno Bruto

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PPA: Paridad del Poder Adquisitivo

RE: Efectos Aleatorios (en modelos econométricos)

SO₂: Dióxido de Azufre

STIRPAT: Modelo de Impacto Estocástico por Regresión sobre la Población, la Riqueza y la Tecnología (del inglés: Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology)

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

URSS: Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas

WDI: Indicadores de Desarrollo Mundial (del inglés: World Development Indicators)

WIPO: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (del inglés: World Intellectual Property Organization)

RESUMEN

La presente investigación analiza los determinantes de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en 16 países de América Latina para el período 2011-2021. Utilizando un análisis de datos de panel, se estimaron y compararon múltiples modelos econométricos, incluyendo Efectos Fijos (FE), Efectos Aleatorios (RE) y Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (FGLS), para asegurar la robustez de los resultados. Las pruebas de diagnóstico confirmaron la presencia de heterocedasticidad y autocorrelación, validando el modelo FGLS como el más adecuado para la inferencia estadística. Los hallazgos revelan que el crecimiento económico (medido por el PIB per cápita) sigue siendo un factor que incrementa significativamente las emisiones, y se refuta la existencia de una Curva Ambiental de Kuznets (EKC) para la región en el período estudiado. El aporte central del estudio radica en el tratamiento de la innovación; si bien en los modelos iniciales su efecto era nulo, el modelo FGLS, metodológicamente más robusto, desvela que la innovación conceptual (vinculada a patentes e I+D) tiene un impacto negativo y marginalmente significativo ($p=0.051$) en la reducción de emisiones. Se concluye que, aunque la transición hacia energías renovables es la estrategia de descarbonización más efectiva a corto plazo, la innovación ya juega un rol mitigador, aunque incipiente. Las políticas públicas deben, por tanto, no solo acelerar la adopción de tecnologías limpias existentes, sino también fortalecer el ecosistema de innovación para que su impacto, hoy modesto, se convierta en un pilar fundamental de la sostenibilidad ambiental a largo plazo en América Latina.

Palabras clave: Ambiental, Desarrollo, Energías, Emisiones, Innovación.

ABSTRACT

This study analyzes the determinants of carbon dioxide (CO₂) emissions in 16 Latin American countries for the period 2011-2021. Using panel data analysis, multiple econometric models were estimated and compared, including Fixed Effects (FE), Random Effects (RE), and Feasible Generalized Least Squares (FGLS), to ensure the robustness of the results. Diagnostic tests confirmed the presence of heteroscedasticity and autocorrelation, validating the FGLS model as the most appropriate for statistical inference. The findings reveal that economic growth (measured by GDP per capita) continues to be a factor that significantly increases emissions, and refute the existence of an Environmental Kuznets Curve (EKC) for the region in the period studied. The central contribution of the study lies in the treatment of innovation; although its effect was nil in the initial models, the FGLS model, which is methodologically more robust, reveals that conceptual innovation (linked to patents and R&D) has a negative and marginally significant ($p=0.051$) impact on emissions reduction. It is concluded that, although the transition to renewable energies is the most effective decarbonization strategy in the short term, innovation already plays a mitigating role, albeit an incipient one. Public policies must therefore not only accelerate the adoption of existing clean technologies, but also strengthen the innovation ecosystem so that its currently modest impact becomes a fundamental pillar of long-term environmental sustainability in Latin America.

Keywords: Environmental, Development, Energy, Emissions, Innovation.



Reviewed by:
Marco Antonio Aquino
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 1753456134

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

La región de América Latina ha enfrentado desafíos significativos en torno a las emisiones de CO₂ y la necesidad de adoptar innovaciones sostenibles para mitigar sus efectos. De acuerdo con el Informe de Desarrollo Sostenible 2020 de la ONU, se estima que las emisiones de carbono en América Latina han aumentado un 36% desde el año 1990, poniendo en riesgo los avances en desarrollo social y económico logrados durante las últimas décadas (Manzanares, 2020). La necesidad de un enfoque más innovador se ha vuelto urgente, ya que el cambio climático amenaza la biodiversidad, la agricultura y la salud pública en la región.

La innovación tiene un papel crucial en la transición hacia economías más sostenibles. Según un estudio de la Organización de Estados Americanos [OEA], las tecnologías limpias son esenciales para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y para fomentar un desarrollo económico más verde (Gao y Lin, 2025). Esto no solo implica la adopción de energías renovables, sino también la creación de políticas que incentiven la investigación y el desarrollo de soluciones sostenibles adaptadas al contexto latinoamericano.

Diversas iniciativas en la región han demostrado que es posible implementar cambios significativos en los patrones de consumo y producción. Por ejemplo, el informe "Innovación para el Desarrollo Sostenible" de la Fundación Villegas et al. destacan cómo las startups en Brasil y Chile están liderando el camino con tecnologías que reducen las emisiones de carbono y promueven la eficiencia energética (Villegas et al., 2024). Estos nuevos modelos de negocio no solo buscan solucionar problemas ambientales, sino que también ofrecen oportunidades de empleo y crecimiento económico.

Sin embargo, a pesar de los avances, el desafío de integrar la innovación en políticas públicas se encuentra presente. La Agencia Internacional de Energía [AIE] subraya que es

esencial que los gobiernos latinoamericanos diseñen estrategias que apoyen el desarrollo de tecnologías limpias para que estas puedan ser adoptadas a gran escala (Cárdenas y Pierpaolo, 2023). Esto implica la necesidad de colaborar entre sectores público y privado para fomentar un entorno propicio para la innovación y garantizar que las soluciones no solo sean accesibles, sino también inclusivas.

Las emisiones de CO₂ y la innovación en América Latina son temas interconectados que requieren una atención urgente. La transición hacia economías sostenibles es una oportunidad para abordar los desafíos ambientales y sociales de la región. La fatídica lucha contra el cambio climático se puede convertir en un motor para la innovación que impulse el desarrollo sostenible en América Latina, siempre que se adopten las políticas adecuadas y se fomente la colaboración intersectorial (Sánchez et al., 2024).

1.1 Antecedentes

Dauda et al. (2019) examinaron los efectos de la innovación y el crecimiento económico en las emisiones de CO₂ para 18 países desarrollados y en desarrollo durante el período de 1990 a 2016. El estudio utilizó una técnica de panel capaz de tratar los efectos de dependencia de la sección transversal: raíz unitaria de Dickey-Fuller aumentada [CADF] de sección transversal de panel para determinar el orden de integración, las pruebas de cointegración de Westerlund confirmaron que las variables están cointegradas. La innovación reduce las emisiones de CO₂ en el G6, mientras que las aumenta en los países MENA y BRICS.

Fernández et al. (2018) verificaron empíricamente que los esfuerzos en innovación tienen un efecto positivo en la reducción de las emisiones de CO₂. Para ello, estimaron un modelo econométrico. El ámbito de este trabajo abarca la Unión Europea (15), Estados Unidos y China entre 1990 y 2013. La estimación se realiza mediante una regresión lineal

por mínimos cuadrados ordinarios, utilizando como variables independientes el gasto en I+D y el consumo energético. Este trabajo demuestra que el gasto en I+D puede recomendarse, no sólo como motor del crecimiento económico de cualquier economía, sino como motor del desarrollo sostenible, donde el crecimiento puede conciliarse con menores emisiones de CO₂.

Mensah et al. (2018) analizaron el efecto de la innovación en las emisiones de CO₂ en 28 países de la OCDE a nivel individual durante el período reciente de 1990 a 2014. Se empleó tres modelos clave basados en el modelo STIRPAT, el modelo de crecimiento económico-EKC y el modelo de innovación-EKC. Los hallazgos del estudio revelaron que la innovación desempeña un papel clave en la mitigación de las emisiones de CO₂ en la mayoría de los países de la OCDE. La innovación es necesaria para mitigar las emisiones de CO₂; por lo tanto, los gobiernos y los responsables políticos deberían invertir y promover fuentes de energía renovables innovadoras.

Vural (2021) investigó el PIB per cápita, las emisiones de dióxido de carbono per cápita, la innovación tecnológica y el comercio como determinantes de la producción de energía renovable para los países latinoamericanos seleccionados durante el período 1991-2014. El grupo de países incluye a Argentina, Brasil, México, Colombia, Chile y Guatemala. Los resultados empíricos se obtienen aplicando métodos de estimación de panel. El análisis empírico, el PIB per cápita, la innovación tecnológica y el comercio tienen un impacto positivo y estadísticamente significativo en la producción de energía renovable per cápita.

Mahmood (2023) investigó los efectos de la inversión extranjera directa [IED], las exportaciones y las importaciones sobre las emisiones en 18 países latinoamericanos de 1970 a 2019, incluyendo el crecimiento económico y el desarrollo del mercado financiero [FMD] en el modelo. La curva ambiental de Kuznets [EKC] está validada, y la región se encuentra en la primera etapa de la EKC. La IED tiene un efecto estadísticamente insignificante y el

impacto de la fiebre aftosa es positivo en las emisiones de CO₂. El estudio recomienda cuidar las actividades exportadoras, financieras y económicas para un medio ambiente sostenible en América Latina.

Anser et al. (2020) empleo tecnología DEA "radial" y "no radial", y reconoce la asociación de una base matemática para aumentar la capacidad analítica del desempeño ambiental de DEA. Los resultados muestran que, en la medición del análisis del desempeño ambiental, el modelo DEA no radial tiene un mayor poder de discriminación en comparación con el DEA radial. Los resultados muestran que los valores promedio de desempeño ambiental radial y no radial son más altos para América Latina y el Caribe, con 0,99 y 0,96, respectivamente, mientras que la ex URSS presenta los valores más bajos, con 0,22 y 0,32, respectivamente.

Dauda et al. (2021) examinaron el vínculo no lineal entre la innovación y las emisiones de CO₂ en nueve (9) naciones africanas de 1990 a 2016, tanto a nivel de panel como a nivel de país individual. La prueba de raíz unitaria de panel de Dickey Fuller aumentada de corte transversal [CADF] afirmó la estacionariedad de las variables. Los resultados validaron una relación en forma de U invertida entre la innovación y la emisión de CO₂ a nivel de panel y en Mauricio, Egipto y Sudáfrica. El uso de energía renovable reduce las emisiones de CO₂ a nivel de panel.

1.2 Planteamiento del Problema

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) representan uno de los principales desafíos ambientales a los que se enfrenta América Latina en la actualidad. Según el informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], se estima que la región es responsable de aproximadamente el 6% de las emisiones globales de CO₂, a

pesar de tener solo el 8% de la población mundial (Intergovernmental Panel On Climate Change, 2021). Esta situación se agrava debido a un modelo de desarrollo basado en la explotación de combustibles fósiles, la deforestación y la industrialización convencional. La urbanización creciente y la demanda de energía intensifican el impacto ambiental, poniendo en riesgo las metas de sostenibilidad a nivel global.

La innovación es clave para abordar esta problemática. Incentivar la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias puede contribuir a reducir las emisiones de CO₂ de manera significativa. Un estudio de la Organización de Estados Americanos [OEA] subraya que la implementación de tecnologías limpias en América Latina podría reducir hasta un 54% las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, siempre y cuando se adopten políticas adecuadas (Díaz & Sosa, 2025). Esto no solo implica la adopción de energías renovables como solar y eólica, sino también la promoción de eficiencias energéticas en todas las industrias.

Diversos países en la región han comenzado a hacer avances notables. Por ejemplo, Chile ha implementado un ambicioso plan de descarbonización, estableciendo el objetivo de cerrar todas las centrales de carbón para 2040. El informe de Energías Renovables de la Asociación Chilena de Energías Renovables [ACERA] indica que, en 2020, el 45% de la generación de electricidad en Chile provino de fuentes renovables no convencionales, lo que ha contribuido a reducir las emisiones de CO₂ en un 33% entre 2010 y 2020 (D. Arias et al., 2022). Este caso resalta cómo la innovación en el sector energético puede tener un impacto positivo en la reducción de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, el camino hacia la sostenibilidad no está exento de obstáculos. La Agencia Internacional de Energía [AIE] advierte que la falta de inversión en investigación y desarrollo, junto con la limitada colaboración entre el sector público y

privado, pueden limitar el progreso necesario para enfrentar el problema de las emisiones de CO₂ (Turiel, 2023). Se necesitan alianzas estratégicas que reúnan a investigadores, empresarios y políticos para fomentar un entorno que favorezca la innovación. Estas colaboraciones son fundamentales para desarrollar soluciones adaptadas a los contextos locales y asegurar la inclusión social en el desarrollo de nuevas tecnologías.

La educación y la concientización sobre la importancia de la innovación frente al cambio climático son igualmente cruciales. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], las comunidades que están informadas sobre los beneficios de prácticas sostenibles tienden a adoptar soluciones innovadoras que generan reducción de emisiones (Rojas et al., 2025). Programas de educación ambiental y capacitación en tecnologías limpias son esenciales para empoderar a individuos y empresas en su camino hacia un futuro más sostenible.

La lucha contra el cambio climático en América Latina puede convertirse en un motor de innovación y crecimiento económico. Un análisis de McKinsey & Company sugiere que la transición hacia una economía baja en carbono podría generar hasta 16 millones de empleos en la región para 2030, si se implementan políticas adecuadas (Cadena et al., 2023). Al abordar las emisiones de CO₂, América Latina no solo contribuirá al bienestar del planeta, sino que también generará nuevas oportunidades de negocio y empleo, especialmente en sectores emergentes relacionados con la sostenibilidad. Así, la innovación se erige como una herramienta poderosa para transformar el desafío de las emisiones de CO₂ en una oportunidad de desarrollo sostenible. Por lo tanto, la pregunta de investigación es: ¿Cómo influye la innovación en las emisiones de CO₂ de América Latina?

1.3 Justificación

América Latina enfrenta un crítico desafío en la lucha contra las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que impactan significativamente en el cambio climático. Según el Banco Mundial, la región es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂, mientras que su contribución a la población mundial es solo del 6% (Banco Mundial, 2022). Este desbalance en la responsabilidad de las emisiones subraya la necesidad urgente de adoptar tecnologías innovadoras que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles, que siguen siendo la principal fuente de energía en muchos países de la región.

La innovación se presenta como una solución vital para abordar este problema. Un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] destaca que la adopción de tecnologías limpias podría llevar a una reducción del 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 en América Latina, siempre que se implementen políticas efectivas y se fomente la investigación (PNUD, 2021). Este potencial resalta la importancia de la innovación no solo en la creación de nuevas tecnologías, sino también en la mejora de los procesos existentes, permitiendo a las industrias adaptarse a un modelo más sostenible.

Los movimientos hacia la sostenibilidad y la innovación están siendo cada vez más visibles, con ejemplos sólidos en diversos países. En Colombia, por ejemplo, el uso de biocombustibles derivados de desechos agrícolas tiene el potencial de disminuir las emisiones de CO₂ y mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte (Rey et al., 2021). Iniciativas como estas evidencian que la innovación puede ofrecer soluciones prácticas que se alinean con las necesidades locales y que, al mismo tiempo, contribuyen a la reducción de las emisiones de CO₂.

A pesar de los avances, la falta de inversión en investigación y el débil apoyo institucional siguen siendo obstáculos significativos. Un estudio de Álvarez et al. (2019)

señala que países de la región invierten, en promedio, menos del 1% de su PIB en investigación y desarrollo, lo que limita considerablemente el impulso innovador necesario para alcanzar los objetivos de sostenibilidad. Esta insuficiencia de recursos económicos y humanos para fomentar el avance tecnológico configura un entorno poco propicio para la adopción de innovaciones que impacten en la mitigación de emisiones.

El papel de la educación y la colaboración intersectorial en la innovación no puede ser subestimado. Según Nandi y Nandi (2020), la creación de valor compartido, que combina el éxito empresarial con el progreso social, es esencial para fomentar una economía más sostenible. La implementación de programas educativos que capaciten a las comunidades locales en tecnologías limpias y prácticas sostenibles no solo facilita la adopción de estas innovaciones, sino que también genera un sentido de responsabilidad colectiva en la lucha contra el cambio climático.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Determinar el efecto de la innovación en las emisiones de CO_2 de América Latina 2011-2021.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de las emisiones de CO_2 de América Latina.
- Diagnosticar la evolución de la innovación en América Latina.
- Estimar la influencia de la innovación en las emisiones de CO_2 de América Latina.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Estado del arte

Numerosas investigaciones de acuerdo al marco de la Curva Ambiental de Kuznets [EKC] para explorar cómo la innovación modera la relación entre crecimiento económico y emisiones. Estos estudios sugieren que, si bien el crecimiento inicial aumenta las emisiones, la innovación tecnológica y estructural es el catalizador clave para la eventual disminución. Por ejemplo, Grossman y Krueger (1995), en su trabajo pionero, sentaron las bases al sugerir que el progreso tecnológico asociado a mayores ingresos podría conducir a la reducción de la contaminación.

Más recientemente, Shahbaz et al. (2015) encontraron evidencia empírica en países del G7 de que la innovación tecnológica contribuye significativamente a reducir las emisiones de CO₂, ayudando a los países a alcanzar el punto de inflexión de la EKC más rápidamente. En una línea similar, Töbelmann y Wendler (2020) demostraron que no toda la innovación es igual, y que es la innovación dirigida específicamente a tecnologías verdes la que acelera de manera más efectiva la desvinculación entre el PIB y las emisiones, confirmando que la innovación es un factor endógeno crucial en la trayectoria de la EKC.

La perspectiva de la destrucción creativa de Schumpeter se ha aplicado para entender la transición hacia sistemas energéticos bajos en carbono como un proceso de cambio disruptivo. Esta línea de investigación argumenta que la reducción de emisiones no proviene de mejoras incrementales, sino de innovaciones radicales que desplazan a las tecnologías contaminantes.

Acemoglu et al. (2012) desarrollaron un influyente modelo que muestra cómo las políticas de innovación (como subsidios a la I+D verde) pueden dirigir el cambio tecnológico lejos de las tecnologías "sucias" (basadas en combustibles fósiles) y hacia las "limpias", creando un ciclo de "destrucción creativa" en el sector energético. Aghion et al.

(2016)reforzaron esta visión al encontrar que la innovación dirigida, impulsada tanto por los precios del carbono como por políticas de apoyo a la tecnología, acelera la invención en tecnologías limpias mientras reduce las patentes en las sucias.

Por su parte, Geels et al. (2017) analizaron estas transiciones desde una perspectiva socio-técnica, destacando que el éxito de la innovación verde no solo depende de la tecnología en sí, sino de su capacidad para desestabilizar y dismantelar los regímenes socio-técnicos existentes, como el basado en el petróleo y el carbón.

Otra área de investigación se centra en medir el impacto directo de la innovación tecnológica verde sobre la reducción de emisiones, a menudo utilizando datos de patentes como un indicador de la actividad innovadora. Este enfoque busca cuantificar la efectividad de la I+D en la mitigación del cambio climático. Popp (2002), en un estudio seminal, demostró que los picos en los precios de la energía inducen un aumento significativo en las patentes relacionadas con la eficiencia energética, lo que sugiere que los incentivos de mercado son un fuerte motor para la eco-innovación.

Investigaciones más recientes de Dechezleprêtre et al. (2014) han demostrado cómo las políticas climáticas, como el Protocolo de Kioto, han estimulado la innovación en tecnologías de bajas emisiones de carbono, evidenciando un vínculo directo entre la regulación ambiental y la respuesta innovadora. Asimismo, Wang et al. (2021), analizando datos de China, encontraron que la innovación tecnológica verde tiene un efecto inhibitor significativo y directo sobre las emisiones de CO₂, y que este efecto se propaga a las regiones vecinas, creando un "efecto derrame" positivo.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Dimensión ambiental del desarrollo sostenible

Considerando la dimensión social, Sen (2000) plantea satisfacer las demandas de la población analizando la repartición equitativa de la renta, lo que podría asemejarse al planteamiento de la sostenibilidad débil, en el sentido que el hombre es el núcleo del debate. Parte de la idea de que no necesariamente implica mejores condiciones de vida, ni una distribución equitativa, ni tampoco se traduce en mejores niveles de educación y salud, ni superación de la pobreza. Para lograr que el desarrollo se transforme en un desarrollo humano sostenible, debe considerarse al capital social como variable dinamizadora del desarrollo de capacidades.

La consolidación de la dimensión social requiere de considerar al menos tres elementos: en primer lugar, la equidad, que debe ser el núcleo de la dimensión social, con especial atención en la equidad intergeneracional; en segundo lugar, las capacidades individuales, la consolidación del capital social con el propósito de contribuir a mejor desempeño social; y, en tercer lugar, la existencia de una comunicación fluida entre los actores en territorio como condición necesaria de la sostenibilidad (Arias, 2006).

La complejidad de esta dimensión se basa no solo en los elementos culturales y de estructura social que la integran, sino porque ha sido la menos abordada en el desarrollo sostenible debido a las limitaciones de medición. A pesar de ello, existen varios indicadores: el Índice de Desarrollo Humano [IDH], el Índice de Bienestar Humano [IBH], el Índice de Bienestar del Ecosistema [IBE], el Índice de Bienestar [IB] y el Índice de Bienestar/Estrés [IBESS] (Tabla 1).

Tabla 1.

Índices y dimensiones del bienestar

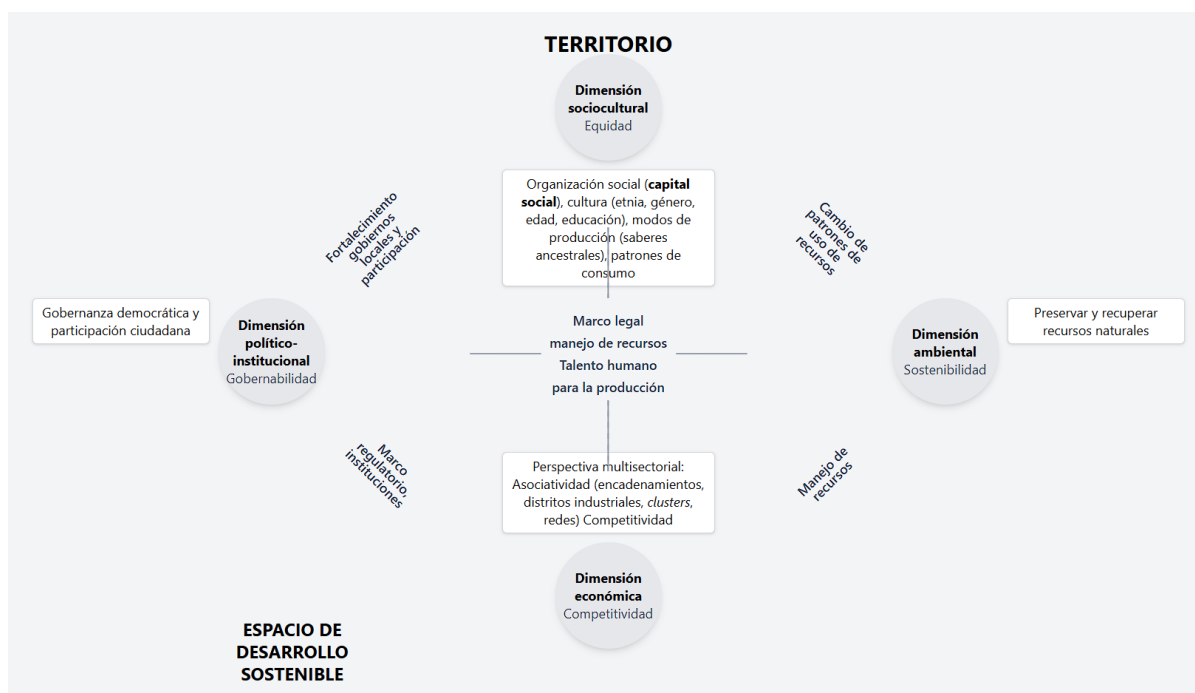
Índice	Dimensiones
Índice de bienestar humano (IBH)	Salud y demografía
	Prosperidad de los hogares y del país
	Educación y tradiciones
	Sociedad (Libertades, Administración, Armonía y Estabilidad)
	Equidad (Familias y Diversidad de Género)
Índice de bienestar del ecosistema (IBE)	Suelo (Variedad y Salud Ambiental)
	Hídricos (Continente y Océano)
	Atmósfera (Pureza del Aire Local y Global)
	Fauna y Flora (Variedad de Especies y Genética)
	Gestión de Recursos (Consumo de Energía, Materiales y Ámbitos Recursivos)
Índice de bienestar (IB)	Representa el cruce entre el Índice de Prosperidad Humana y el Índice de Prosperidad Ecológica en el Barómetro de Sostenibilidad.
	Demuestra la capacidad de las sociedades para armonizar el progreso humano con la salud ecológica, acercándose así a un estado sostenible.
Índice de bienestar / estrés (IBESS)	Es el cociente entre la prosperidad humana y la presión sobre los ecosistemas (opuesto a la prosperidad ecológica). Muestra el impacto ambiental negativo de una sociedad en relación con su nivel de avance.

	Generado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) basado en tres dimensiones:
Índice de desarrollo humano (IDH)	esperanza de vida, educación (alfabetización, matriculación y asistencia) e ingreso per cápita.

Este desarrollo sostenible se encuentra fundamentado en cuatro ejes básicos: la competitividad o dimensión económica, la sostenibilidad en sí misma o dimensión ambiental, la equidad concebida como el acceso a las oportunidades y la expansión de las libertades humanas (Sen, 2000) o dimensión sociocultural, además del eje de gobernabilidad o dimensión política-institucional (Sepúlveda, 2008). Estas dimensiones se relacionan en un espacio de desarrollo sostenible, que genera una serie de condiciones necesarias para la consecución de sus objetivos a través de la adecuada toma de decisiones

Figura 1.

Dimensiones del desarrollo sostenible y sus relaciones



Nota: adaptado de Sepúlveda (2008, p. 11)

De esta forma, las dimensiones del desarrollo sostenible que tienen lugar en el territorio se enfrentan con alguna frecuencia a contracciones o tensiones entre ellas: por un lado, la dimensión ambiental, que busca la preservación de la naturaleza, considerando los límites planetarios; por otro lado, la dimensión económica, que plantea un modelo cuyo centro es la cooperación y la colaboración, a lo que se agrega la dimensión sociocultural en la que el centro es la búsqueda de la igualdad y el reconocimiento de la cultura, las etnias, los saberes ancestrales, los modos de consumo y la organización social que tiene como inicio el capital social. Y, por último, la dimensión político-institucional, que hace referencia al marco normativo y regulatorio y que promueve la gobernanza democrática y la actuación del ciudadano, apoyada en la descentralización (Hernández, 2023, p. 15).

a) Dimensión económica

La dimensión económica se centra en la organización de la actividad económica desde la producción hasta el consumo, superando el concepto de maximización de beneficios, basado en la racionalidad económica, y supeditándolo a la prevención del ambiente y al bienestar social (Riestra, 2018).

De esta forma, la dimensión económica busca la modificación de las formas y estructuras clásicas por el lado de la oferta y de la demanda, que quedan condicionadas a la conciencia sobre las restricciones del entorno natural. En esta búsqueda de nuevos patrones de producción y consumo, existen iniciativas que abarcan estrategias de asociatividad de empresas, emprendimientos colectivos vinculados al tercer sector y la economía circular que pretende convertir los procesos y modelos lineales en circulares. En cuanto al consumo, se propone incentivar un consumo responsable, hablando entonces de consumo colaborativo.

Innovación como Motor de la Sostenibilidad Económica

La innovación enfocada en la sostenibilidad es crucial para redefinir el objetivo de las actividades económicas, poniendo énfasis en la resiliencia y el valor a largo plazo en

lugar de en las ganancias inmediatas. Esto requiere una reestructuración de los modelos de negocio para que sean intrínsecamente sostenibles, un proceso conocido como "innovación en el modelo de negocio sostenible" (Du et al., 2022). En este contexto, las empresas no solo alteran un producto o proceso, sino que también transforman su propuesta de valor, la forma en que crean valor y su modelo de rentabilidad para generar efectos positivos tanto económicos como socioambientales. La digitalización, por su parte, sirve como un potente facilitador, permitiendo desde la trazabilidad completa a lo largo de la cadena de suministro hasta el desarrollo de plataformas destinadas a la economía colaborativa (Urbancová y Vrabcová, 2023).

Este tipo de innovación responde tanto a la presión de las regulaciones como a la creciente demanda de los consumidores por productos y servicios que sean responsables. La habilidad de una empresa para incorporar la sostenibilidad en su estrategia fundamental mediante la innovación se está convirtiendo en un indicador crucial de su viabilidad futura. Según Bocken y Geradts (2020), "la innovación en modelos de negocio sostenibles puede ayudar a las organizaciones a manejar las tensiones entre los objetivos económicos, sociales y ambientales" p.15 , lo que les permite enfrentar la complejidad del mercado actual y descubrir nuevas fuentes de ventaja competitiva que los modelos convencionales no pueden proporcionar. Así, esta capacidad innovadora se erige como el verdadero motor de la transición económica.

b) Dimensión ambiental

Esta dimensión, también llamada dimensión ecológica, «cubre los elementos de la naturaleza, que resultan necesarios para la satisfacción de las necesidades de las personas, así como aquellos que son fundamentales para garantizar una buena vida a las personas y su entorno» (Riestra, 2018, p. 28).

La Dimensión Ambiental como Fundamento del Bienestar

La dimensión ambiental, también conocida como ecológica, constituye el fundamento vital sobre el que se desarrollan todas las demás facetas del progreso humano, tales como la social y la económica. No debe considerarse un aspecto aislado, sino más bien como la base que proporciona los recursos esenciales y las condiciones de estabilidad requeridas para la existencia. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "un medio ambiente sano no es un lujo, sino una necesidad para la erradicación de la pobreza, el bienestar humano y el disfrute de los derechos fundamentales" (Baste, 2021, p. 23). Esta visión sugiere que se debe entender a la naturaleza no como una fuente inagotable de recursos ni como un vertedero sin límites para nuestros desechos, sino como un sistema complejo y finito del cual dependemos completamente para nuestra supervivencia y calidad de vida.

El Valor de los Servicios Ecosistémicos

Para entender la relación de dependencia con el entorno, es clave el concepto de servicios ecosistémicos, que representan los diversos beneficios que la naturaleza ofrece a la sociedad. Estos beneficios incluyen desde los servicios de provisión, como el suministro de agua dulce y alimentos, hasta aquellos relacionados con la regulación, como la polinización de cultivos y la limpieza del aire y el agua. La Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas [IPBES] señala que estos servicios esenciales están en declive a un ritmo sin precedentes en la historia humana debido a las acciones humanas, lo cual pone en "grave riesgo las economías, los medios de vida, la seguridad alimentaria y la calidad de vida de las personas alrededor del mundo" (Franco & Ruíz, 2020, p. 33).

Límites Planetarios: El Espacio Operativo Seguro

La noción de que la Tierra tiene una capacidad limitada para absorber los efectos de la actividad humana se establece en el contexto de los límites planetarios. Existen nueve

procesos biofísicos, como el cambio climático, la integridad del ecosistema y las transformaciones en el uso del suelo, que son fundamentales para mantener la estabilidad y resiliencia del sistema terrestre. Superar estos límites incrementa el riesgo de provocar alteraciones ambientales significativas, repentinas e irreversibles. Un estudio reciente dirigido por el *Stockholm Resilience Centre* ha encontrado que la humanidad ya ha excedido seis de estos nueve límites, lo que resulta en "un espacio operativo seguro cada vez más reducido para la humanidad" (Richardson et al., 2023, p. 18). Este enfoque científico resalta la necesidad urgente de reformular nuestros modelos de producción y consumo para funcionar dentro de las capacidades del planeta (Richardson et al., 2023).

Las Emisiones de CO₂ y su Impacto Climático

Dentro de los límites planetarios, el cambio climático se encuentra entre los problemas más urgentes, siendo impulsado principalmente por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero [GEI]. Estas emisiones provienen de la combustión de combustibles fósiles, la deforestación y ciertos procesos industriales. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], en su Sexto Informe de Evaluación, enfatiza con claridad que "las actividades humanas, especialmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han provocado un calentamiento del clima sin lugar a dudas" (Le Clercq, 2024, p.19). Dichas emisiones retienen el calor en la atmósfera, lo que altera los patrones climáticos a nivel global, incrementa la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos y ocasiona el aumento del nivel del mar. Esto representa una amenaza directa y existencial para los ecosistemas y las comunidades en todo el planeta.

Medición de la Dimensión Ambiental

Para gestionar lo que es significativo, es necesario, en primer lugar, medirlo. La dimensión ambiental puede ser cuantificada mediante diversos indicadores y metodologías.

A nivel de producto o empresa, el Análisis del Ciclo de Vida [ACV] representa una herramienta estandarizada (ISO 14040/14044) que examina los impactos ambientales desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, evaluando así todo el proceso "de la cuna a la tumba". En términos nacionales o globales, la huella ecológica evalúa la demanda de superficie biológicamente productiva por parte de una población en relación con la biocapacidad existente (Rivera, 2017).

En particular, para las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI], la huella de carbono mide el total de emisiones directas e indirectas. Esta métrica es esencial para que países y organizaciones fijen objetivos de reducción compatibles con el Acuerdo de París y avancen hacia la neutralidad climática; un objetivo que, según la Agencia Internacional de Energía, requiere una "transformación masiva en nuestra producción, transporte y consumo energético" (IEA, 2023, p. 43).

c) Dimensión sociocultural

Esta dimensión está conectada con elementos del tejido o capital social y con variables demográficas como la etnia, el género y la educación. Estos elementos le permiten relacionarse con la dimensión económica, es decir, con las posibilidades de integración sectorial (asociatividad) y competitividad a través de las competencias del talento humano y sus capacidades para construir el desarrollo (Coraggio, 2011).

El Capital Social como Motor de Cooperación y Competitividad

Un elemento fundamental de esta dimensión es el capital social, que se describe como el conjunto de recursos que provienen de las redes de relaciones, la confianza mutua y las normas de reciprocidad que facilitan la acción colectiva. Este concepto no se refiere a un activo tangible, sino a la calidad de los vínculos que permiten a una sociedad operar de

manera efectiva. Cuando el capital social es fuerte, la cooperación prospera, lo que permite la "integración sectorial (asociatividad)" mencionada por Coraggio (Fialho et al., 2025).

Esto se traduce en la capacidad de pequeños productores para formar cooperativas, comunidades para gestionar recursos comunes y ciudadanos para movilizarse en favor del bien público. El Banco Mundial enfatiza esta noción al indicar que "el capital social es el adhesivo que une a las sociedades. Las redes de relaciones entre individuos en una sociedad particular permiten su funcionamiento eficaz" (Nogueira et al., 2024, p. 34), convirtiéndose así en un requisito previo para la competitividad y la resiliencia económica.

Equidad, Diversidad y el Potencial del Talento Humano

La dimensión sociocultural requiere un examen crítico de las variables demográficas como la etnia, el género y el nivel educativo, dado que estos factores influyen en el grado de equidad y en la plena realización del potencial humano. Las desigualdades sistémicas basadas en el género o la etnicidad no solo constituyen una injusticia, sino que también representan un costo significativo para el desarrollo al no aprovechar completamente los talentos y capacidades de amplios sectores de la población (Gómez et al., 2019).

En este contexto, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] ha señalado de manera constante que "las poblaciones indígenas y afrodescendientes de la región aún enfrentan brechas significativas en su acceso a la educación, salud y empleo formal, lo que restringe su participación plena en el desarrollo" (CEPAL, 2022, p. 41). Por ende, promover la inclusión y la equidad se presenta como una estrategia esencial para fortalecer el tejido social y ampliar la base del talento humano.

La Educación como Puente entre lo Social y lo Económico

La educación actúa como el vínculo esencial que une de manera clara las dimensiones socioculturales y económicas, al desarrollar las "competencias del talento humano". Un sistema educativo de alta calidad no solo se enfoca en la transmisión de habilidades técnicas,

sino que también promueve el pensamiento crítico, los valores cívicos y la capacidad de adaptación—factores fundamentales para fomentar la innovación y la productividad en el siglo XXI (Herrera et al., 2025).

La educación otorga a los individuos las herramientas necesarias para involucrarse completamente en la vida social, cultural y económica, convirtiendo sus sueños en habilidades tangibles. Según la UNESCO, la educación es "la fuerza más poderosa a nuestra disposición para garantizar mejoras significativas en la salud, estimular el crecimiento económico y activar el potencial para alcanzar un futuro más sostenible" (UNESCO, 2023, p. 21). Por lo tanto, invertir en educación significa, fundamentalmente, invertir en la habilidad de una sociedad para determinar su propio futuro (Castillo et al., 2023).

d) Dimensión político-institucional

A las tres dimensiones previas, Sepúlveda (2008) incorpora una cuarta, la dimensión político-institucional, asociada con el marco institucional y con la gobernanza, que incluye además la participación política y la gestión comunitaria como el mecanismo que permite la toma de decisiones desde el territorio. En esta dimensión, se incluye la contribución ciudadana y se vincula con la sociocultural a través de la consolidación de los actores políticos locales y de la participación.

Gobernanza, Participación y la Construcción de la Legitimidad

El concepto de gobernanza es fundamental en esta dimensión, ya que amplía la noción de "gobierno" para abarcar el proceso mediante el cual se toman y ejecutan decisiones, involucrando a una diversidad de actores. Una gobernanza que sea democrática y efectiva se distingue por su transparencia, su rendición de cuentas y, lo más importante, por la participación ciudadana. Este último aspecto no es un elemento opcional; actúa como el mecanismo que confiere legitimidad a las políticas públicas y asegura que estas aborden las verdaderas necesidades de la población (Albert, 2024).

La participación implica mucho más que simplemente votar; requiere la creación de espacios deliberativos donde los ciudadanos puedan impactar en las decisiones que afectan su entorno. Tal como indica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], "fomentar sociedades pacíficas, justas e inclusivas demanda instituciones responsables que protejan los derechos y aseguren que nadie quede atrás, lo cual solo es viable con la activa participación de la ciudadanía" (Campos et al., 2024, p. 28).

La Toma de Decisiones desde el Territorio y la Gestión Comunitaria

Un elemento transformador de esta dimensión es el enfoque en la descentralización del poder, lo que permite la "toma de decisiones desde el territorio". Esto implica delegar competencias y recursos a los gobiernos locales y, de manera fundamental, fortalecer a las comunidades para que gestionen sus propias cuestiones. La gestión comunitaria de recursos como sistemas de agua o áreas protegidas ilustra cómo la participación directa puede resultar en resultados más sostenibles y justos (Arias, 2024).

Al empoderar a los actores políticos locales y a las organizaciones comunitarias, se establece un sistema de gobernanza multinivel que es más resistente y adaptable. Un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] destaca que "las políticas de desarrollo regional y local que capacitan a los actores subnacionales y promueven la participación cívica son más eficaces para mitigar las desigualdades territoriales y liberar el potencial endógeno de desarrollo en las regiones" (Monge-González et al., 2023, p. 13).

2.2.2 Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son el principal contribuyente al cambio climático y representan la mayor proporción de las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI] generadas por actividades humanas. La fuente más significativa de estas emisiones es

la quema de combustibles fósiles —carbón, petróleo y gas natural— para la generación de electricidad, el transporte y los procesos industriales. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2023), el transporte se ha consolidado como uno de los mayores emisores, superando incluso a la generación de electricidad en algunas regiones, debido a la dependencia masiva de vehículos de combustión interna (EPA, 2023). Además, procesos industriales como la producción de cemento y las actividades agrícolas, incluida la deforestación, liberan grandes cantidades de carbono almacenado en la biomasa y los suelos, alterando el ciclo natural del carbono y aumentando su concentración en la atmósfera.

El incremento sostenido de CO₂ atmosférico intensifica el efecto invernadero, un fenómeno natural que regula la temperatura de la Tierra pero que, al exacerbarse, provoca el calentamiento global. Los datos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] confirman que las concentraciones actuales de CO₂ no tienen precedentes en al menos los últimos 800,000 años, lo que ha resultado en un aumento de la temperatura media global de aproximadamente 1.1 °C por encima de los niveles preindustriales (Masson et al., 2021). Este calentamiento desencadena una serie de consecuencias graves, como el derretimiento de los glaciares y casquetes polares, el aumento del nivel del mar, y una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, como olas de calor, sequías e inundaciones, que amenazan los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el bienestar humano a escala global.

2.2.3 Innovación para la sostenibilidad

La innovación se define como la introducción y aplicación de una novedad o mejora significativa en productos, procesos, marketing o métodos organizacionales con el fin de generar valor. No se limita a la invención, sino que abarca la implementación exitosa de esa idea en un contexto práctico, ya sea comercial o social. Según el Manual de Oslo, una guía

de referencia internacional, la innovación implica la transformación del conocimiento en un nuevo valor económico y social, y no es simplemente un acto de creatividad, sino un proceso deliberado y gestionado que busca resultados tangibles (OECD, 2018). De este modo, la esencia de la innovación radica en su capacidad para resolver problemas, satisfacer nuevas necesidades o mejorar de manera sustancial las soluciones existentes, convirtiéndose en un motor fundamental del progreso y la competitividad.

La innovación para la sostenibilidad ambiental, o eco-innovación, se refiere a cualquier innovación que resulta en un progreso significativo hacia el objetivo del desarrollo sostenible, al reducir los impactos sobre el medio ambiente, mejorar la resiliencia a las presiones ambientales o lograr un uso más eficiente y responsable de los recursos naturales. Este tipo de innovación es transversal y puede manifestarse en nuevas tecnologías (como las energías renovables), procesos productivos más limpios (como los de la economía circular), o nuevos modelos de negocio que desvinculan la creación de valor del consumo de recursos (Kemp y Horbach, 2007). El propósito fundamental de la eco-innovación no es solo mitigar el daño ambiental, sino rediseñar los sistemas de producción y consumo para que operen en armonía con los límites del planeta, transformando los desafíos ambientales en oportunidades económicas y sociales.

La medición y el logro de la innovación para la sostenibilidad requieren un enfoque multifacético que combine políticas de impulso, métricas claras y estrategias empresariales. Su medición se puede abordar a través de indicadores como la reducción de la intensidad de carbono (emisiones de CO₂ por unidad de PIB), la eficiencia en el uso de recursos (agua, energía, materiales por unidad producida) y el número de patentes "verdes" registradas, que actúan como un proxy del esfuerzo inventivo en tecnologías limpias (Arundel y Kemp, 2009). Para lograr, es crucial una combinación de factores: por un lado, marcos regulatorios que incentiven o exijan mejoras ambientales (como los impuestos al carbono o los estándares

de emisiones) y, por otro, una estrategia empresarial proactiva que integre la sostenibilidad en su núcleo, invirtiendo en I+D y fomentando una cultura de colaboración. Este ecosistema de apoyo, que conecta a gobiernos, empresas y centros de investigación, es fundamental para acelerar el desarrollo y la adopción de soluciones que conduzcan a un futuro sostenible.

2.2.4 Relación entre innovación y emisiones de CO₂

La Curva Ambiental de Kuznets (EKC)

La Hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC, por sus siglas en inglés) postula que la relación entre el desarrollo económico (medido generalmente como el PIB per cápita) y la degradación ambiental (como las emisiones de CO₂) sigue una forma de "U invertida". En las primeras etapas del desarrollo, las emisiones aumentan rápidamente a medida que un país se industrializa, priorizando el crecimiento económico sobre la protección ambiental. Sin embargo, una vez que se alcanza un cierto umbral de ingresos, la tendencia se revierte y las emisiones comienzan a disminuir. La innovación es el motor clave de esta inflexión: a medida que una sociedad se vuelve más próspera, puede permitirse invertir en I+D, desarrollar tecnologías más limpias y eficientes, y la población comienza a demandar una mejor calidad ambiental, impulsando a los gobiernos y a las empresas a innovar y adoptar prácticas más sostenibles (Grossman y Krueger, 1995).

A pesar de su atractivo intuitivo, la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets [EKC] ha sido objeto de un exhaustivo análisis crítico. Una de las objeciones más significativas es que la evidencia empírica que la respalda es, en el mejor de los casos, ambivalente y depende considerablemente del tipo específico de contaminante estudiado. Si bien se ha identificado una curva en forma de "U invertida" para ciertos contaminantes locales con efectos directos en la salud, como el dióxido de azufre (SO₂) o las partículas suspendidas, los hallazgos relacionados con contaminantes globales como el CO₂ son mucho menos definitivos (Olivares y Hernández, 2021).

Diversas investigaciones sugieren que la relación para el CO₂ puede no seguir una tendencia descendente; más bien, podría estabilizarse o incluso continuar en aumento. Como destacan Stern, Common y Barbier, "la aparente desvinculación observada en los países desarrollados se atribuye en gran medida a la externalización de actividades industriales contaminantes hacia naciones más pobres, en lugar de a una verdadera desmaterialización económica" (Stern, 2018, p.17). Por lo tanto, las mejoras ambientales registradas en un país rico podrían estar ocurriendo a expensas del deterioro ambiental en otros lugares.

Al profundizar en el mecanismo detrás del cambio en la curva, se puede observar que este no ocurre automáticamente ni es simplemente resultado del incremento del ingreso. La "innovación" mencionada originalmente puede dividirse en dos efectos fundamentales: el efecto composición y el efecto técnico. El efecto composición implica un cambio estructural dentro de la economía, moviéndose desde industrias pesadas y contaminantes hacia una economía orientada a servicios y conocimiento, que es intrínsecamente menos intensiva en recursos (Newell et al., 2019).

Por otro lado, el efecto técnico se refiere a la adopción de tecnologías más limpias y eficientes dentro de cada sector económico. Investigaciones recientes realizadas por el Panel Internacional de Recursos [IRP] subrayan que sin políticas deliberadas orientadas a promover la eficiencia en recursos y una economía circular, el crecimiento económico por sí solo no asegura una disminución absoluta ni del uso de recursos ni de las emisiones. De hecho, "las mejoras en eficiencia frecuentemente son superadas por aumentos en la escala del consumo", fenómeno conocido como 'efecto rebote' (Bringezu et al., 2019, p. 22), lo cual reduce parcialmente los beneficios tecnológicos.

El debate contemporáneo sobre la EKC ha ampliado su enfoque para incluir una variedad más extensa de presiones ambientales que van más allá de la contaminación tradicional; esto incluye temas como la pérdida de biodiversidad, el consumo material y

huella hídrica. Para estos indicadores adicionales, la noción de un punto de inflexión automático resulta aún menos sólida. Un estudio publicado en *The Lancet Planetary Health* reveló que los países con ingresos altos siguen ejerciendo presión insostenible sobre el planeta a pesar de sus esfuerzos incrementales y superan ampliamente los límites planetarios establecidos (O'Neill et al., 2018).

Esto indica que la relación entre desarrollo y medio ambiente es considerablemente más compleja que lo sugerido por una simple curva. En lugar de asumir que eventualmente los problemas ambientales serán resueltos mediante crecimiento económico continuo, las estrategias contemporáneas enfatizan la necesidad imperiosa del desacoplamiento absoluto; donde el crecimiento del PIB esté completamente desvinculado del aumento en impactos ambientales. Según señala la Agencia Europea de Medio Ambiente, alcanzar este objetivo requiere transformaciones fundamentales dentro de los sistemas actuales de producción y consumo impulsados por políticas proactivas y no meramente depender del optimismo respecto a un cambio automático (Hickel, 2019).

Modelo de Schumpeter de Destrucción Creativa

El concepto de "destrucción creativa", acuñado por Joseph Schumpeter, describe la innovación como un "vendaval perenne" que revoluciona incesantemente la estructura económica desde adentro, destruyendo lo antiguo para crear lo nuevo. Aplicado a la sostenibilidad, este modelo sugiere que la transición hacia una economía baja en carbono no será gradual, sino disruptiva. La innovación (especialmente la eco-innovación radical) actúa como la fuerza destructora, haciendo que las tecnologías, modelos de negocio e infraestructuras basadas en combustibles fósiles se vuelvan obsoletos. Por ejemplo, el auge de los vehículos eléctricos y las energías renovables no solo añade una nueva opción al mercado, sino que desafía y busca reemplazar activamente a la industria automotriz tradicional y a las centrales eléctricas de carbón. Este proceso, aunque puede ser

económicamente doloroso a corto plazo para los sectores incumbentes, es fundamental para lograr una reducción drástica y estructural de las emisiones de CO₂ (Schumpeter, 2013).

La implementación del modelo schumpeteriano en el contexto de la sostenibilidad enfatiza que la transición implica más que una simple sustitución tecnológica; se trata de una reconfiguración integral de los sistemas sociotécnicos. Las innovaciones disruptivas, tales como las redes eléctricas inteligentes, las soluciones de almacenamiento de energía a gran escala y los modelos de economía circular, no solo compiten en términos de costos, sino que también introducen nuevas dinámicas de mercado y valor que los sistemas tradicionales no pueden igualar (Sculley, 2020).

Esto da lugar a lo que se conoce como "dependencias del camino" (path dependency), donde la infraestructura existente, las regulaciones y las competencias previamente optimizadas para la economía basada en combustibles fósiles funcionan como obstáculos al cambio. La economista Carlota Perez sostiene que estas transiciones son complejas y requieren un "gran impulso" tanto político como financiero para superar la inercia del antiguo paradigma tecnoeconómico y liberar todo el potencial del nuevo enfoque (Fagerberg y Verspagen, 2021).

De manera análoga, Mariana Mazzucato argumenta que el Estado debe asumir un papel proactivo en la creación de mercados, dirigiendo inversiones hacia misiones concretas como la descarbonización, en lugar de esperar pasivamente a que el mercado actúe (Mazzucato, 2021). Este enfoque activo es esencial porque, tal como advierte la Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA], permitir que el proceso ocurra de manera orgánica sería demasiado lento para alcanzar los objetivos climáticos globales establecidos.

Modelo de Innovación Tecnológica Verde (Green-Tech)

Este modelo se enfoca directamente en el rol de la innovación tecnológica como la solución principal para la descarbonización. Postula que las emisiones de CO₂ pueden

reducirse significativamente mediante el desarrollo y la difusión a gran escala de "tecnologías verdes" específicas. A diferencia de la EKC, que depende del crecimiento económico general, este modelo se centra en la inversión dirigida y los incentivos políticos para acelerar la innovación en áreas clave como las energías renovables (solar, eólica), la eficiencia energética, la captura y almacenamiento de carbono [CAC], y las baterías para vehículos eléctricos. La "curva de aprendizaje" o "ley de Wright" es fundamental en este modelo, ya que demuestra que el costo de estas tecnologías disminuye a medida que aumenta su producción acumulada (es decir, a medida que se innova y se escala). Por lo tanto, las políticas que impulsan la demanda y la inversión en I+D verde pueden crear un ciclo virtuoso de reducción de costos e incremento de la adopción, llevando a una disminución acelerada de las emisiones (Popp et al., 2010).

Si bien la curva de aprendizaje actúa como un motor económico significativo, el modelo Green-Tech reconoce que su desarrollo no se produce en un contexto aislado. La política pública juega un papel crucial como catalizador para superar las barreras iniciales y facilitar la difusión de tecnología. Herramientas tales como subsidios para energías renovables, estándares de eficiencia energética aplicables a electrodomésticos y edificios, así como precios al carbono (impuestos o sistemas de comercio de emisiones), son esenciales para que las tecnologías limpias puedan competir con las tecnologías fósiles ya establecidas y fuertemente subsidiadas (Arias et al., 2022).

Este fenómeno es conocido como "crowding out" o desplazamiento tecnológico motivado por políticas. Un informe reciente de la Agencia Internacional de la Energía [AIE] señala que "las políticas gubernamentales han sido el principal motor detrás de la drástica reducción de costos en energía solar y eólica durante la última década, creando los mercados iniciales que hicieron posible la innovación y las economías de escala" (AIE, 2023, p. 10). Además, como menciona la economista Mariana Mazzucato, el Estado a menudo debe ir

más allá de ofrecer incentivos y actuar como un inversor primordial en investigación y desarrollo [I+D] arriesgada, financiando las etapas iniciales de tecnologías disruptivas que el sector privado considera demasiado inciertas (Mazzucato, 2021).

Esta estrategia de "empuje tecnológico", combinada con el "tirón de la demanda" generado por políticas públicas, facilita que las innovaciones verdes transiten del laboratorio al mercado global; esto ha sido respaldado por análisis del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], que atribuyen a estas sinergias políticas una parte significativa de las reducciones en emisiones alcanzadas hasta ahora (Naidoo, 2022).

Modelo de Economía Circular

El modelo de economía circular ofrece una perspectiva sistémica que va más allá de la simple eficiencia o el cambio tecnológico. Propone una reorganización fundamental del sistema productivo para eliminar los residuos y la contaminación desde el diseño, manteniendo los productos y materiales en uso durante el mayor tiempo posible y regenerando los sistemas naturales. La relación con las emisiones de CO₂ es directa: en lugar de un modelo lineal de "extraer, producir, usar y tirar", que consume enormes cantidades de energía y recursos vírgenes en cada etapa, la economía circular reduce drásticamente las emisiones al:

- 1) Minimizar la extracción y el procesamiento de materias primas, que son actividades muy intensivas en energía.
- 2) Extender la vida útil de los productos a través de la reparación, la remanufactura y la reutilización.
- 3) Reciclar materiales, lo que requiere mucha menos energía que producirlos desde cero.

La innovación aquí no es solo tecnológica, sino también de modelo de negocio (ej. productos como servicio, plataformas de intercambio) y de diseño (diseño para el

desmontaje, uso de biomateriales), creando un sistema intrínsecamente bajo en carbono (MacArthur, 2013).

A pesar de los evidentes beneficios, la transición hacia una economía circular enfrenta importantes obstáculos económicos, culturales y regulatorios. El modelo lineal actual de nuestro sistema económico está profundamente arraigado, con cadenas de suministro optimizadas para la producción masiva a bajo costo y una cultura de consumo que prioriza la novedad y el desecho. Este cambio no solo requiere buenas intenciones; necesita una innovación sistémica que integre políticas, modelos de negocio y comportamientos del consumidor (Fraser et al., 2023).

Por ejemplo, los modelos de "Producto como Servicio" [PaaS], en los cuales una empresa alquila el acceso a un producto en lugar de venderlo (como ocurre en la movilidad compartida o el leasing de equipos), son esenciales. Los investigadores Bocken et al. destacan que estos modelos comerciales circulares son vitales porque motivan a los productores a diseñar productos duraderos, reparables y actualizables, ya que mantienen la propiedad y responsabilidad sobre ellos durante todo su ciclo vital (Bocken et al., 2016).

Además, la revolución digital presenta un papel dual: por un lado, apoya la economía circular mediante plataformas de intercambio, pasaportes de materiales y seguimiento en las cadenas de suministro; por otro lado, el rápido ciclo de obsolescencia de los dispositivos electrónicos representa uno de los mayores retos. Superar estas barreras requiere, según la OCDE, un "conjunto coherente de políticas que eliminen subsidios perjudiciales a recursos vírgenes, implementen la responsabilidad extendida del productor y utilicen la contratación pública verde para establecer mercados líderes" para productos circulares (Schröder et al., 2020, p.38).

2.2.5 Evidencia empírica de la relación entre innovación y dimensión ambiental (emisiones de Co2)

La investigación empírica global ha establecido de manera convincente que la innovación es un motor clave para la mitigación de las emisiones de CO₂. Estudios en países de la OCDE, utilizando metodologías econométricas como el Análisis de Cointegración y modelos Autorregresivos de Rezagos Distribuidos [ARDL], consistentemente muestran que variables como el gasto en Investigación y Desarrollo [I+D] y el número de patentes verdes están negativamente correlacionadas con las emisiones per cápita a largo plazo. Por ejemplo, el trabajo de Alvarez et al. (2017) demuestra que tanto la innovación energética específica como la innovación general del sistema reducen las emisiones, validando el "efecto técnico" donde la tecnología mejora la eficiencia y reduce la intensidad de carbono. El consenso, reflejado en informes del Arias et al. (2022), es que la innovación tecnológica, apoyada por políticas públicas, no es una opción, sino un prerequisite para un desacoplamiento absoluto entre el crecimiento económico y el impacto ambiental.

Al aplicar este análisis a América Latina, los estudios revelan una realidad más compleja. La propuesta central de estas investigaciones es determinar si la innovación puede cumplir el mismo rol mitigador en una región caracterizada por una menor inversión en I+D y una alta dependencia de los recursos naturales. Un estudio clave de Zeng et al. (2024) para la región utilizó modelos ARDL para analizar la relación a corto y largo plazo entre innovación (medida por patentes), turismo y emisiones de CO₂. Su principal hallazgo es que, si bien la innovación tecnológica tiene el efecto esperado de reducir las emisiones a largo plazo, este impacto es a menudo eclipsado o incluso revertido por el crecimiento de otros sectores, como un turismo no sostenible, que aumentan la huella de carbono general. La conclusión es crucial: la innovación sectorial aislada es insuficiente si la estructura económica general no transita hacia la sostenibilidad.

Otra vertiente importante de la investigación se centra en los canales a través de los cuales la innovación impacta las emisiones. Dado que la región es más una adoptante que una generadora de tecnología de punta, la transferencia tecnológica vía Inversión Extranjera Directa [IED] y comercio es fundamental. Un estudio de Qamruzzaman (2024) sobre 22 países latinoamericanos, empleando modelos de panel con efectos fijos, investigó si la IED trae consigo un "halo de contaminación" (tecnologías más limpias) o una "hipótesis del refugio de contaminación" (industrias sucias). Sus conclusiones apoyan la existencia de un halo de contaminación, sugiriendo que la IED ha sido, en promedio, un vehículo para importar tecnologías y prácticas de gestión más eficientes que contribuyen a reducir las emisiones. Esto subraya la importancia de las políticas que atraen IED de alta calidad y fomentan la capacidad de absorción tecnológica local.

Sin embargo, el efecto positivo de la innovación no es automático y a menudo depende de condiciones preexistentes. Investigaciones más recientes exploran los "efectos de umbral", proponiendo que los beneficios de la innovación solo se materializan una vez que un país alcanza un cierto nivel de desarrollo en otras áreas. Por ejemplo, Purwono et al. (2024), en un estudio que incluye a Brasil, utilizó técnicas de umbral para demostrar que la innovación tecnológica solo comienza a reducir significativamente la degradación ambiental cuando el país ha alcanzado un nivel mínimo de desarrollo financiero. La lógica es que un sistema financiero robusto es necesario para que las empresas puedan obtener el capital requerido para invertir en la adopción de nuevas y costosas tecnologías limpias. Esta conclusión es de vital importancia para América Latina, donde el acceso al crédito para proyectos innovadores y sostenibles sigue siendo una barrera sistémica.

La evidencia empírica para América Latina dibuja un panorama condicional: la innovación tiene el potencial de ser una poderosa palanca para la descarbonización, pero su éxito está supeditado a un ecosistema de apoyo. Las conclusiones de diversos estudios

convergen en una recomendación política clara: no basta con financiar la I+D de forma aislada. Es imperativo crear un marco integral que combine la inversión en capital humano, la atracción de IED de calidad, el desarrollo de mercados financieros profundos y, fundamentalmente, la implementación de políticas ambientales regulatorias (como precios al carbono o estándares de eficiencia) que generen una demanda de mercado para las innovaciones verdes. Como señala la Sánchez (2023), la superación de la crisis climática en la región dependerá de un "gran impulso para la sostenibilidad" que articule la política industrial, tecnológica y ambiental en una estrategia coherente.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación.

El presente trabajo se utilizó una metodología cuantitativa, no experimental y de alcance explicativo. Este diseño se apoya en la metodología analítico-deductiva, la cual tiene como objetivo establecer y cuantificar relaciones causales entre variables sin la manipulación directa de estas (Hernández et al., 2010). Según estos autores, el enfoque cuantitativo refleja la necesidad de medir y estimar las magnitudes de los fenómenos, lo que se logra mediante la formulación de hipótesis claras en un marco teórico sólido. Para ello, se utiliza el análisis empírico con modelos estadísticos estandarizados que permiten la prueba de dichas hipótesis.

La investigación utiliza datos de panel, combinando observaciones de corte transversal de los países a lo largo del tiempo, lo que demanda un análisis centrado en técnicas econométricas apropiadas para este tipo de datos. Se seleccionarán modelos de efectos fijos [FE] y efectos aleatorios [RE]. La elección definitiva entre ambos modelos se basa en la Prueba de Hausman, la cual es un contraste estadístico que determina si la heterogeneidad no observada, específica de cada país, está correlacionada con las variables explicativas. Este procedimiento es fundamental, ya que asegura la obtención de estimadores robustos y consistentes, minimizando el riesgo de sesgo que pueda surgir de variables omitidas que son constantes en el tiempo.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación de este estudio se centra en un enfoque cuantitativo. Este modelo busca establecer relaciones causales entre variables sin manipulación directa, siguiendo la metodología analítico-deductiva, que permite formular hipótesis a partir de un marco teórico sólido. Como argumentan Hernández et al. (2010), el enfoque cuantitativo se

caracteriza por la recolección de datos numéricos que facilitan la medición y estimación de fenómenos. Este diseño es particularmente útil para identificar patrones en datos de panel, donde se combinan observaciones transversales a lo largo del tiempo, permitiendo una comprensión más profunda de las dinámicas a investigar.

Para la implementación del análisis, se optará por modelos econométricos que controlen la heterogeneidad no observada y efectos temporales comunes, con especial atención a la elección entre efectos fijos y aleatorios mediante la Prueba de Hausman (Hausman, 1978). Este procedimiento es esencial para garantizar la robustez y la validez de los estimadores, evitando el sesgo por variables omitidas (Hsiao, 2022). Además, se contemplará la corrección de problemas de autocorrelación y heterocedasticidad, los cuales pueden comprometer la eficiencia de las estimaciones (Wooldridge, 2010).

3.3 Técnicas de recolección de datos

Se emplearán datos secundarios que se obtendrán de fuentes confiables como el Banco Mundial (World Development Indicators) y el Índice Global de Innovación. Estos recursos proporcionan una vasta cantidad de información sobre las variables de estudio, incluyendo las emisiones de CO₂, PIB per cápita, proporción de energía renovable, y otros indicadores socioeconómicos y ambientales relevantes, todo ello en un marco temporal de 2011 a 2021. La utilización de datos secundarios permite aprovechar series temporales consistentes y validadas, minimizando el sesgo y los errores en los resultados (R. Hernández et al., 2010). La combinación de ambas técnicas de recolección garantizará una perspectiva integral y robusta para el análisis econométrico de las dinámicas entre innovación y sostenibilidad en América Latina.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

La población de estudio para esta investigación está conformada por los 16 países de América Latina que se han seleccionado para el análisis, a saber: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú y Uruguay. Este grupo fue elegido debido a su diversidad económica, social e institucional, lo que permite una representación más amplia de las realidades de la región. El período de estudio abarca desde 2011 hasta 2021, correspondiente a la disponibilidad de datos consistentes y fiables, particularmente en el contexto de indicadores de gobernanza y sostenibilidad.

En cuanto al tamaño de la muestra, se utilizarán todos los países de la población mencionada, lo que permite realizar un análisis exhaustivo y comparativo. Dado que se utilizarán técnicas econométricas de datos de panel, no es necesario ajustar el tamaño de la muestra en función de los postulados de muestreo convencional. Esto es ventajoso, ya que permite maximizar la cantidad de datos disponibles, garantizando suficiente variabilidad y representatividad para evaluar las relaciones entre las variables de interés. Al optar por utilizar todos los países de la muestra, se busca también asegurar la validez externa de los resultados, facilitando comparaciones entre diferentes contextos socioeconómicos y permitiendo inferencias más robustas sobre los efectos de la innovación en las emisiones de CO₂ en la región.

3.5 Hipótesis de ser el caso

Mejores resultados en términos de innovación (conocimiento, tecnología, resultados creativos), generan menores emisiones de CO₂

3.6 Métodos de análisis

Para alcanzar los objetivos específicos de esta investigación, se emplearán diversos métodos de análisis que permitirán una evaluación exhaustiva del comportamiento de las emisiones de CO₂ y la innovación en América Latina. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis descriptivo detallado sobre las emisiones de CO₂ en la región. Este análisis incluirá gráficos de líneas que ilustrarán la evolución tanto de las emisiones de CO₂ per cápita como de las emisiones de CO₂ por unidad de PIB en los 16 países seleccionados para el periodo de 2011 a 2021. La representación visual de estos datos se complementará con estadísticas descriptivas, como medias, medianas y desviaciones estándar, así como gráficos comparativos que revelarán tendencias generales, patrones de comportamiento y diferencias significativas en los niveles de emisiones entre los países latinoamericanos.

Para diagnosticar la evolución de la innovación en la región, se utilizará una estrategia similar. Se analizará la trayectoria del indicador de innovación, representado por el número de solicitudes de patentes por millón de habitantes. Se aplicarán gráficos de series de tiempo y análisis comparativos que permitirán identificar los países líderes en innovación, así como aquellos que presentan un mayor rezago. Esto no solo facilitará la comprensión del panorama innovador en América Latina, sino que también permitirá observar las dinámicas de crecimiento en la capacidad innovadora de cada país a lo largo del periodo estudiado.

Para el tercer objetivo principal estimando la influencia de la innovación en las emisiones de CO₂ se implementará un modelo econométrico de datos de panel. Este enfoque es adecuado para analizar relaciones causales, ya que posibilita el control de factores inobservables específicos de cada país que permanecen constantes en el tiempo. Se formulará un modelo de regresión que relacionará las emisiones de CO₂ (la variable dependiente) con las variables independientes que representan la innovación —así como otras variables de control relevantes, incluyendo el PIB per cápita, el uso de energía

renovable, la urbanización, las instituciones, el capital humano e investigación, y la sostenibilidad ecológica.

Tabla 2.

Resumen de la conceptualización de las variables, indicadores y formas de medida

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Fuente de Datos / Forma de Medida
(Y1) Emisiones de CO₂ per cápita	Cantidad de dióxido de carbono emitida por la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento, dividida por la población total. Mide la contribución promedio de cada habitante a la contaminación.	Se calcula dividiendo el total de emisiones de CO ₂ de un país en un año (en toneladas métricas) entre su población total en ese mismo año.	Emisiones de CO ₂ per cápita	Banco Mundial (WDI). Toneladas métricas por persona.
(X1) PIB per cápita	Valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos en un país por habitante. Es un indicador clave del nivel de desarrollo económico.	Producto Interno Bruto convertido a dólares internacionales utilizando las tasas de paridad del poder adquisitivo (PPA) y dividido por la población total.	PIB per cápita, PPA (a precios internacionales constantes de 2017)	Banco Mundial (WDI). Dólares internacionales.
(X2) Energía Renovable	Proporción de la energía consumida que proviene de fuentes no fósiles, como la solar, eólica, geotérmica, biomasa e hidroeléctrica.	Se calcula como el porcentaje que representa las fuentes de energía renovable dentro del consumo total de energía final del país.	Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final)	Banco Mundial (WDI). Porcentaje (%).
(X3) Urbanización	Proceso de concentración de la población en ciudades y áreas urbanas, y el consecuente cambio en el estilo de vida y la estructura económica.	Porcentaje de la población total de un país que reside en áreas clasificadas como urbanas por las oficinas nacionales de estadística.	Población urbana (% del total de la población)	Banco Mundial (WDI). Porcentaje (%).
(X4) Instituciones	Mide el ambiente institucional, regulatorio y de negocios. Incluye entre los indicadores la calidad regulatoria	Puntuación de 0 a 100 que se construye sobre la base de 3 elementos	Pilar del Global Innovation Index	WIPO: World Intellectual Property Organization
(X5) Innovación: Conocimiento y resultados tecnológicos	Mide la creación de conocimiento (patentes, modelos de utilidad, citaciones), el impacto del conocimiento y la difusión del conocimiento	Puntuación de 0 a 100 que se construye sobre la base de 3 elementos	Pilar del Global Innovation Index	WIPO: World Intellectual Property Organization

(X6) Innovación: Resultados creativos	Mide los activos intangibles, la creación de bienes y servicios, y la creatividad online	Puntuación de 0 a 100 que se construye sobre la base de 3 elementos	Pilar del Global Innovation Index	WIPO: World Intellectual Property Organization
(X7) Sostenibilidad ecológica	Mide el porcentaje de uso del carbono como energía y la aplicación de la norma ISO 14001	Puntuación de 0 a 100 que se construye sobre la base de 3 indicadores	Elemento del pilar de infraestructura del Global Innovation Index	WIPO: World Intellectual Property Organization
(x8) Capital humano e investigación	Mide la educación en términos de gasto, el porcentaje de la población en el tercer nivel, investigación y desarrollo	Puntuación de 0 a 100 que se construye sobre la base de 3 elementos	Pilar del Global Innovation Index	WIPO: World Intellectual Property Organization

Nota: Elaboración propia.

Este análisis econométrico proporcionará una visión integral de cómo diversos factores interactúan y afectan las emisiones de CO₂, facilitando conclusiones robustas y útiles para futuros estudios y políticas en la región.

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 INNOV_{it} + \beta_2 PIBp_{it} + \beta_3 ERenov_{it} + \beta_4 URB_{it} + \beta_5 INSt_{it} + \beta_6 CAPHUM_{it} + \beta_7 SOSECT_{it} + u_{it}$$

Para un modelo de efectos fijos que controla la heterogeneidad inobservada específica de cada país y efectos temporales comunes [λt], según lo recomendado por Hsiao (2022) y Arellano y Bond (1991). La especificación básica es:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \varepsilon_{it}$$

donde y_{it} es la variable dependiente para la unidad i en el tiempo t , X_{it} son las variables explicativas, β son los coeficientes a estimar, α_i representa el efecto fijo específico de la unidad i , y ε_{it} es el término de error.

Mientras que para un modelo de efectos aleatorios cuya especificación básica es:

$$y_{it} = \beta x_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

donde y_{it} es la variable dependiente del individuo i en el período t . X_{it} es un vector de variables independientes para el individuo i en el período t . β es un vector de coeficientes que indican el efecto de las variables independientes. α_i representa el efecto aleatorio específico del individuo i , que se asume constante a lo largo del tiempo. ε_{it} es el término de error idiosincrático, que varía tanto entre individuos como a través del tiempo.

Sin embargo, para asegurar la validez de los resultados obtenidos en el modelo, es necesario corregir posibles problemas de autocorrelación y heterocedasticidad, ya que estos pueden comprometer la eficiencia e incluso la consistencia de los estimadores. La autocorrelación ocurre cuando los errores están correlacionados a lo largo del tiempo para una misma unidad. Para detectarla, se utiliza la prueba de Wooldridge (2010), ampliamente recomendada en modelo de panel de datos. La hipótesis nula de esta prueba plantea ausencia de autocorrelación de primer orden, mientras que su rechazo sugiere la necesidad de corregir el modelo para evitar estimaciones sesgadas o ineficientes.

En cuanto a la heterocedasticidad, esta implica que la varianza del error no es constante entre las unidades o a lo largo del tiempo. Puede darse mediante la prueba de Breusch-Pagan o mediante la prueba de Wald para heterocedasticidad generalizada. Cuando se detectan estos problemas, una solución robusta consiste en estimar los modelos con errores estándar ajustados.

En caso de encontrar autocorrelación y/o heterocedasticidad, se aplican correcciones mediante errores estándar robustos agrupados por unidad, que permiten obtener estimaciones consistentes y válidas para la inferencia estadística.

Para seleccionar el modelo se aplica el test de Hausman, que es una herramienta esencial para decidir entre modelos de efectos fijos y aleatorios en datos de panel. Este

contraste estadístico evalúa si los estimadores de efectos aleatorios son consistentes al comparar sus coeficientes frente a los de efectos fijos. Bajo la hipótesis nula (H_0), ambas especificaciones son consistentes y eficientes, por lo que se prefiere el modelo aleatorio por su eficiencia. Si se rechaza H_0 , indica correlación entre los efectos individuales no observados y las variables explicativas, y el modelo de efectos fijos es preferible (Hausman, 1978; Baltagi, 2008).

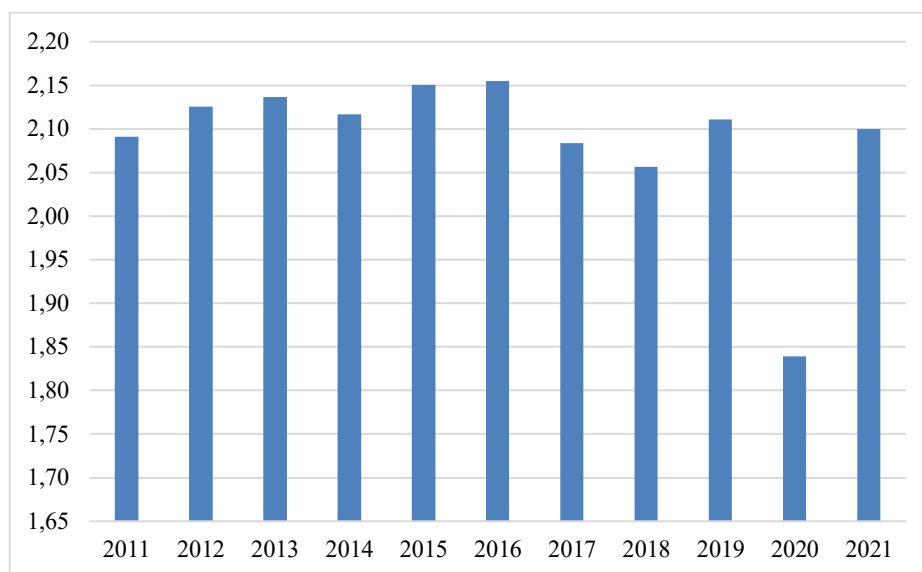
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados y discusión

4.1.1 Evolución de las emisiones de CO2 y la innovación

Figura 2.

Promedio anual de Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) de América Latina



Nota. Información extraída del Banco Mundial (2025).

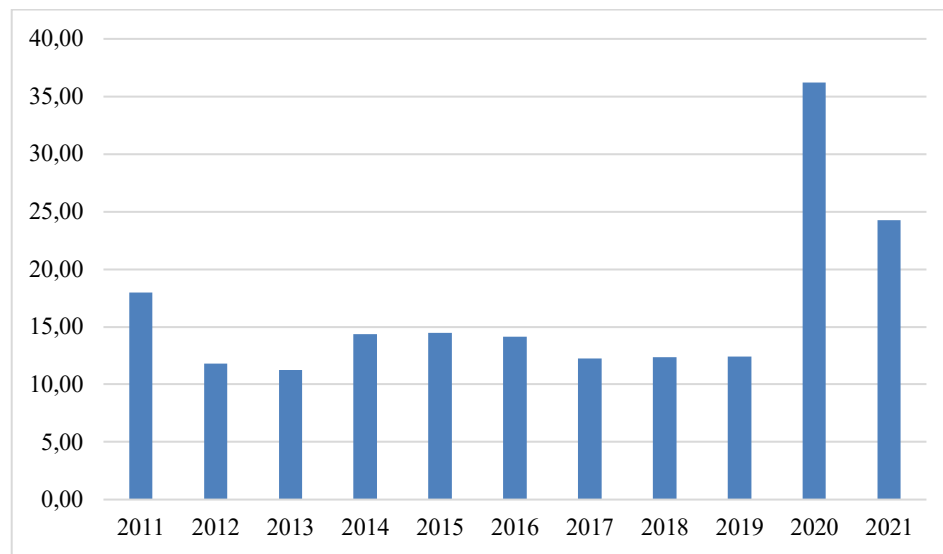
El gráfico de barras ilustra el promedio anual de emisiones de CO2 per cápita en América Latina, expresado en toneladas métricas, durante el período de 2011 a 2021. A lo largo de la mayor parte de esta década, las emisiones se mantuvieron relativamente constantes, con ligeras fluctuaciones que apenas superaron las 2,00 toneladas métricas por persona. Los años comprendidos entre 2011 y 2016 reflejan una notable estabilidad, con cifras que muestran escasos cambios, lo que indica un periodo de equilibrio en la emisión de gases de efecto invernadero en la región.

Desde 2017, se registra una tendencia descendente, aunque inicialmente es gradual. La disminución más pronunciada ocurre en 2020, cuando el promedio de emisiones desciende abruptamente a alrededor de 1,83 toneladas métricas per cápita. Este descenso significativo coincide con el inicio de la pandemia de COVID-19, que resultó en una

reducción considerable de la actividad industrial, del transporte y otros sectores económicos, afectando directamente las emisiones de dióxido de carbono. El eje horizontal culmina en 2021, lo que limita la posibilidad de determinar si esta tendencia a la baja continuó o si las emisiones lograron recuperarse a niveles anteriores a la pandemia.

Figura 3.

Promedio anual de Innovación: Conocimiento y resultados tecnológicos de América Latina



Nota. Información extraída del WIPO (2025)

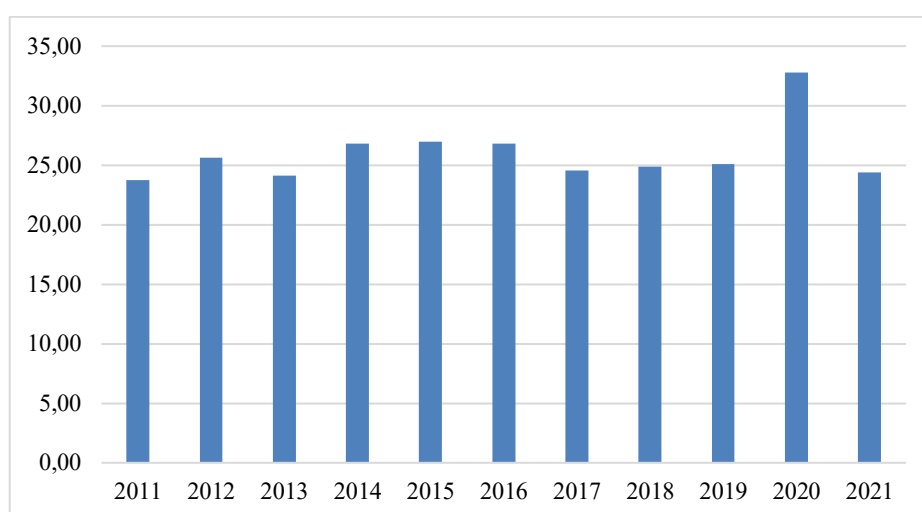
La Figura 3 ilustra el promedio anual del índice de "Conocimiento y resultados tecnológicos" en América Latina desde 2011 hasta 2021. En una primera observación, el gráfico revela una notable volatilidad a lo largo de este periodo. Entre los años 2011 y 2019, el índice se mantiene en un rango relativamente limitado, generalmente oscilando entre 11 y 18 puntos. El año inicial, 2011, comienza con un valor cercano a 18, seguido por una disminución en 2012 y 2013; después de esto, se estabiliza con variaciones menores hasta llegar a 2019. Esta etapa inicial sugiere un estancamiento o un avance modesto y desigual en la capacidad de la región para generar y aplicar conocimiento tecnológico.

El cambio más significativo ocurre en 2020, cuando el indicador alcanza su nivel más alto, superando los 35 puntos, más del doble comparado con cualquier otro año dentro

del periodo analizado. Este aumento excepcional podría estar vinculado a una aceleración en la adopción de tecnologías digitales y soluciones innovadoras impulsadas por la pandemia. No obstante, en 2021, el índice experimenta una caída considerable, ubicándose alrededor de 24 puntos. A pesar de que esta cifra sigue siendo notablemente superior a los niveles anteriores a 2020, la reducción indica que el impulso extraordinario del año anterior no se mantuvo completamente; esto podría atribuirse a desafíos económicos, ajustes post-pandemia o incluso a la naturaleza misma del índice medido.

Figura 4.

Promedio anual de Innovación: Resultados creativos de América Latina



Nota. Información extraída del WIPO (2025)

La Figura 4 muestra el promedio anual del indicador de "Resultados creativos" en América Latina durante el período 2011-2021. A lo largo de la mayor parte de esta década, el rendimiento de la región en este aspecto de la innovación ha presentado una variabilidad constante, con valores que oscilan entre aproximadamente 23 y 27 puntos. No se evidencia una tendencia clara ni al alza ni a la baja entre los años 2011 y 2019; más bien, los valores experimentan altibajos anuales, lo que indica un estancamiento relativamente sostenido en áreas como la creatividad intangible, los bienes y servicios creativos, así como en la creatividad digital.

De manera similar a otros indicadores de innovación, el año 2020 representa un cambio importante. El índice de "Resultados creativos" alcanza su punto más alto del

período, superando los 32 puntos. Este significativo aumento se puede explicar por la rápida digitalización y el crecimiento en la producción de contenido en línea y servicios digitales como respuesta a las limitaciones impuestas por la pandemia. Sin embargo, para 2021, el indicador desciende a un nivel cercano a los 24 puntos, similar a las cifras registradas antes del aumento. Esta disminución sugiere que el impulso creativo observado en 2020 fue parcialmente temporal o que las dificultades económicas y sociales del año siguiente impactaron negativamente en la capacidad para sostener ese nivel excepcional de producción creativa.

4.1.2 Modelización econométrica

A fin de analizar el efecto de la innovación sobre las emisiones de Co2 se estimó el modelo de efectos fijos y de efectos aleatorios para datos de panel, obteniendo los resultados que se presentan a continuación.

Tabla 3.

Modelo de Efectos Fijos

Variable / Estadístico	Coefficiente	Error estándar
Producto interno bruto per cápita	0,0004062***	0,000104
Producto interno bruto per cápita al cuadrado	-1,14E-08***	3,99E-09
Población urbana	-0,0636935***	0,0114663
Energía renovable	-0,0370706***	0,0049791
Innovación conocimiento	-0,00127	0,002429
Innovación creatividad	-0,0044698	0,0038515
Institucionalidad	-0,0014045	0,0016066
Sostenibilidad ecológica	-0,000088	0,0014273
Constante	5,977121***	0,8061031
Prueba F	23,15***	
R2 total	0,3863	
R2 within (tiempo)	0,5492	
R2 between (individuos)	0,3829	
Rho	0,98	
Prueba homocedasticidad	444,89***	
Prueba autocorrelación	11,528***	

Nota. Significativo al 1% ***, 5% **, 10% *

El modelo de efectos fijos propuesta evidencia un R^2 (Within) de 0,5492, lo que implica que cerca del 55% de esta variabilidad a lo largo del tiempo es explicada por las variables consideradas. El examen de los coeficientes revela resultados coherentes con la teoría económica ambiental. Las variables del PIB per cápita (gdpperc) y su término cuadrático (gdpp2) resultan estadísticamente significativas. Un coeficiente positivo para gdpperc y uno negativo para gdpp2 sugiere la existencia de una Curva Ambiental de Kuznets (EKC) en el conjunto de países latinoamericanos, indicando que en las etapas tempranas el crecimiento económico incrementa las emisiones, pero después de alcanzar un umbral, un mayor desarrollo se relaciona con una disminución de éstas.

Adicionalmente, el consumo de energía renovable (ene_renov) presenta un coeficiente negativo y es altamente significativo, confirmando que una mayor proporción de energías renovables en la matriz energética representa una estrategia efectiva para reducir las emisiones de CO₂. Inesperadamente, el aumento en la población urbana (pob_urb) también exhibe un efecto negativo significativo, sugiriendo que la urbanización en estos países durante este periodo ha estado relacionada con una mayor eficiencia en el uso de recursos o con una transición hacia economías más orientadas a los servicios, lo cual contradice expectativas comunes.

Un hallazgo central notable del modelo es la falta de significancia estadística en relación con las variables asociadas a la innovación. Tanto la innovación conceptual (innov_conc), potencialmente vinculada a I+D o patentes, como la innovación creativa (innov_creativo), no son estadísticamente significativas. Esto indica que, según los datos y el intervalo temporal analizados, no se puede concluir que la innovación haya tenido un impacto discernible ya sea positivo o negativo sobre la reducción de las emisiones de CO₂ en América Latina. A pesar de que los coeficientes son negativos lo cual sería teóricamente

esperado su alta variabilidad (reflejada por el error estándar) impide considerar este resultado como fiable desde una perspectiva estadística.

De manera similar, tanto la calidad institucional (instit) como la sostenibilidad ecológica (sost_ecol) tampoco resultan ser significativas. Este descubrimiento es relevante: sugiere que, aunque podría haber innovación ocurriendo en la región, está aún no ha alcanzado ni la magnitud ni el enfoque necesarios hacia tecnologías realmente verdes para influir significativamente sobre la huella de carbono a nivel macroeconómico.

En resumen, el modelo de efectos fijos concluye que durante el periodo 2011-2021 en América Latina, los factores predominantes que explican la dinámica de las emisiones de CO₂ son principalmente el desarrollo económico evolutivo (siguiendo una EKC) y notablemente la adopción de energías renovables. Aunque teóricamente relevante, la innovación no aparece como un factor explicativo significativo dentro del análisis empírico realizado; esto no implica que sea irrelevante, sino que su impacto real ha sido hasta ahora demasiado limitado o disperso para ser capturado globalmente, posiblemente debido a las características estructurales económicas regionales o a implementaciones insuficientes.

Con respecto a la prueba de heterocedasticidad, (Test de Breusch-Pagan o de White), aplicada a los residuos del modelo de regresión previamente estimado. El propósito de esta prueba es determinar si la varianza de los errores en el modelo permanece constante (homocedasticidad) o si, por el contrario, presenta variaciones dependiendo de los niveles de las variables independientes (heterocedasticidad). La hipótesis nula (H0) de este test establece que existe homocedasticidad (varianza constante).

Los resultados indican que se rechaza contundentemente la hipótesis nula de homocedasticidad. La detección de heterocedasticidad confirmada por esta prueba tiene implicaciones importantes para la validez del modelo de efectos fijos presentado en la Tabla 3. Aunque los coeficientes estimados (β) siguen siendo insesgados (es decir, en promedio

son correctos), ya no son eficientes (no presentan mínima varianza). Más crucial aún, los errores estándar calculados bajo el supuesto de homocedasticidad resultan incorrectos y sesgados, generalmente subestimados. Esto compromete las pruebas individuales de significancia (los estadísticos t y sus respectivos p-valores) así como los intervalos de confianza, indicando que no podemos confiar plenamente en las conclusiones sobre qué

La prueba de Wooldridge para detectar autocorrelación en datos de panel, examina la hipótesis nula (H_0) que postula la ausencia de correlación serial de primer orden en los residuos idiosincráticos del modelo. Los resultados sugieren una autocorrelación significativa, lo cual implica que el error en un periodo está relacionado con el error del periodo previo.

Tabla 4.

Modelo de Efectos Aleatorios

Variable / Estadístico	Coefficiente	Error estándar
Producto interno bruto per cápita	0,0004024***	0,000083
Producto interno bruto per cápita al cuadrado	-1,16E-08***	3,33E-09
Población urbana	-0,042353***	0,010067
Energía renovable	-0,0343863***	0,0044139
Innovación conocimiento	-0,0013954	0,0025457
Innovación creatividad	-0,005296	0,0040393
Institucionalidad	0,0000077	0,0016393
Sostenibilidad ecológica	-0,0006236	0,0014825
Constante	4,3443***	0,6959262
Prueba Wald	195,56***	
R ² total	0,5645	
R ² within (tiempo)	0,5346	
R ² between (individuos)	0,5652	
Rho	0,9538	
Prueba de Hausman	18,20***	

Nota. Significativo al 1% ***, 5% **, 10% *

La Tabla 4 muestra los resultados de un modelo de Efectos Aleatorios (RE), que se presenta como una opción alternativa al modelo de Efectos Fijos (FE). Al analizar los coeficientes, se observan resultados muy similares a los del modelo FE, lo cual refuerza la

robustez de los hallazgos. Se vuelve a evidenciar la existencia de una Curva Ambiental de Kuznets (EKC), donde las variables *gdpperc* (positiva) y *gdpp2* (negativa) son altamente significativas. La energía renovable (*ene_renov*) sigue siendo el factor más potente y relevante para mitigar efectos negativos. Consistentemente, se reitera un hallazgo clave: las variables relacionadas con innovación permanecen estadísticamente no significativas. Esto apoya la conclusión generalizada que indica que, sin importar el tipo de panel utilizado (FE o RE), no se ha podido demostrar un impacto medible de la innovación sobre las emisiones de CO₂ en América Latina durante el período analizado; lo mismo aplica a las variables relativas a calidad institucional y sostenibilidad ecológica.

A pesar de que el modelo RE puede parecer más eficiente, su preferencia sobre el FE depende del resultado obtenido en un test de Hausman. Con base en los resultados del Test de Hausman, se determina que el modelo de Efectos Fijos (FE) es el más adecuado para este análisis. Esta prueba evalúa formalmente los coeficientes del modelo de Efectos Fijos (que es consistente bajo ambas hipótesis) en comparación con los del modelo de Efectos Aleatorios (que es eficiente, pero solo consistente si no hay correlación entre los efectos individuales y los regresores). Este rechazo indica una correlación significativa entre los efectos individuales no observables de cada país y las variables explicativas del modelo. Por consiguiente, el modelo de Efectos Aleatorios podría generar estimaciones sesgadas e inconsistentes. Aunque el software advierte sobre la matriz de varianzas y covarianzas, el bajo p-valor sigue siendo un fuerte argumento a favor del modelo de Efectos Fijos, que tiene en cuenta estos efectos no observables y ofrece estimaciones consistentes y precisas de los verdaderos impactos de las variables.

Tabla 5 .*Modelo FGLS (para corrección de heterocedasticidad y autocorrelación)*

Variable / Estadístico	Coefficiente	Error estándar
Producto interno bruto per cápita	0.0001715***	0.0000329
Producto interno bruto per cápita al cuadrado	-5.27E-10	2.07E-09
Energía renovable	-0.0261847***	0.0016837
Innovación conocimiento	-0.0024158*	0.0012393
Innovación creatividad	-0.0031005	0.0021231
Institucionalidad	0.0008641	0.0016036
Sostenibilidad ecológica	-0.0004326	0.001208
Constante	1.811774***	0.1432375
Prueba de Wald	650,01***	

Nota. Significativo al 1% ***, 5% **, 10% *

El modelo FGLS (Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles) se ha utilizado en este análisis como una técnica robusta para abordar simultáneamente los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación identificados en diagnósticos previos. Al modificar la estructura de los errores, este modelo permite obtener estimaciones más eficientes de los coeficientes, así como errores estándar y p-valores confiables. Un cambio significativo se observa en el contexto de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC): la variable del PIB per cápita al cuadrado (gdpp2) ha perdido toda su relevancia estadística. Esto sugiere que, tras corregir la estructura de los errores, no hay evidencia de un efecto EKC en esta muestra. El crecimiento económico (gdpperc) continúa teniendo un impacto positivo y significativo sobre las emisiones, pero no se identifica un punto de inflexión donde el desarrollo comience a reducirlas. En contraste, la energía renovable (ene_renov) se establece como el factor mitigador más importante y sólido.

Un hallazgo clave del modelo corregido radica en la variable relacionada con la innovación. Después de controlar por heterocedasticidad y autocorrelación, la variable innov_conc (innovación conceptual) resulta ser marginalmente significativa desde el punto de vista estadístico, sugiriendo que un incremento en la innovación conceptual está

vinculado a una reducción en las emisiones de CO₂. Aunque otra variable relacionada con innovación (innov_creativo) permanece no significativo, este resultado es fundamental ya que implica que el efecto mitigador asociado a la innovación era real, aunque estaba oculto o "enmascarado" por una estructura ineficiente en modelos anteriores. La aparición marginal del efecto en el modelo más sólido valida la hipótesis teórica sobre la importancia de la innovación para facilitar la descarbonización en América Latina, aunque su influencia actual sea limitada.

El modelo FGLS proporciona una representación metodológicamente adecuada y precisa acerca de las dinámicas emisoras en la región. Reafirma que fomentar las energías renovables es una estrategia altamente efectiva con impactos claros y refuta la noción de que los países latinoamericanos han alcanzado un punto crítico dentro de la curva EKC; señala que el crecimiento económico sigue siendo generalmente perjudicial para el medio ambiente. Además, subraya el papel relevante que desempeña la innovación al evidenciar su capacidad mitigadora, aunque aún incipiente. La innovación en conocimiento debe interpretarse cuidadosamente; sin embargo, representa una indicativa sólida de que las inversiones en I+D y generación de patentes comienzan a mostrar resultados positivos. La implicación política resulta contundente: las estrategias orientadas hacia la innovación no son ineficaces; más bien requieren tiempo adicional, mayor escala e inversión específica para lograr efectos más pronunciados y estadísticamente significativos.

4.2 Discusión

Los resultados de este estudio proporcionan una visión detallada sobre los factores que influyen en las emisiones de CO₂ en América Latina durante el periodo 2011-2021. A través de un análisis econométrico que abordó problemas de heterocedasticidad y autocorrelación utilizando un modelo FGLS, se evidencia una dinámica compleja que se

relaciona directamente con la literatura existente. Los hallazgos subrayan la importancia de la transición energética, cuestionan la validez de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC) en esta región y, lo más notable, revelan un efecto incipiente pero significativo de la innovación que no era evidente en modelos anteriores menos robustos.

En contraste con investigaciones realizadas en países desarrollados como los del G7 (Shahbaz et al., 2015), donde la EKC suele ser confirmada, nuestros resultados refutan esta hipótesis para América Latina. Aunque los modelos iniciales indicaban un posible punto de inflexión, el modelo FGLS, que ofrece una metodología más sólida, demuestra que el término cuadrático del PIB per cápita ($gdpp2$) carece de significancia estadística ($p=0.799$). Esto sugiere que durante el periodo estudiado, la región permaneció en fase ascendente de la curva, donde el crecimiento económico está intrínsecamente relacionado con el aumento en las emisiones. La región aún no ha alcanzado niveles de desarrollo o madurez tecnológica suficientes para desacoplar el crecimiento económico de la degradación ambiental, como plantean Grossman y Krueger (1995).

Por otro lado, el consumo de energía renovable (ene_renov) emerge como el factor más influyente y estadísticamente sólido para mitigar emisiones, presentando un impacto negativo altamente significativo. Este hallazgo es consistente a través de todas las especificaciones del modelo y coincide con estudios globales que identifican la transición energética como una estrategia crucial para descarbonizar. Indica que las políticas centradas en implementar tecnologías limpias existentes están generando los efectos más claros y contundentes en el contexto actual latinoamericano.

Quizás lo más sorprendente de este análisis es el papel emergente que juega la innovación. Inicialmente, las variables relacionadas con innovación no presentaron significancia estadística, lo cual contradice teorías que las consideran elementos clave (Töbelmann & Wendler, 2020). Sin embargo, tras aplicar el modelo FGLS, se observa que

la innovación conceptual (*innov_conc*), vinculada a patentes e I+D, se convierte marginalmente significativa con un coeficiente negativo. Esto sugiere que existe un efecto mitigador real asociado a la innovación; aunque estaba oculto por deficiencias estadísticas en modelos preliminares. Este resultado modesto respalda empíricamente investigaciones previas como las de Popp (2002) y Wang et al. (2021), quienes asocian actividad innovadora a mejoras ambientales.

La marginal significancia observada en la innovación conceptual frente a otras métricas sugiere que el proceso schumpeteriano de "destrucción creativa", descrito por Acemoglu et al. (2012) y Aghion et al. (2016), se encuentra aún en sus inicios dentro del contexto latinoamericano. La innovación dirigida capaz de reemplazar tecnologías contaminantes todavía no ha alcanzado una masa crítica suficiente para generar un impacto macroeconómico significativo. Los resultados indican que las inversiones en I+D están comenzando a mostrar frutos; sin embargo, es necesario aumentar tanto su escala como su enfoque para acelerar esta transición.

Este estudio empírico sitúa a América Latina ante un dilema crucial: mientras el crecimiento económico continúa siendo motor impulsor de emisiones y parece lejana una posible inflexión según EKC, se hace evidente que promover energías renovables es indiscutiblemente la estrategia más efectiva a corto y mediano plazo. No obstante, también se destaca el descubrimiento del potencial efecto mitigador emergente derivado de la innovación; sirve como llamado a adoptar políticas enfocadas en fomentar I+D y patentes verdes ya que son esfuerzos necesarios para cimentar una descarbonización sostenible a largo plazo conforme promete la teoría.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se concluye que las emisiones de CO₂ en América Latina entre 2011 y 2021 fueron impulsadas principalmente por dos fuerzas opuestas. Por un lado, el crecimiento económico (gdpperc) actúa como un factor que eleva considerablemente las emisiones. A diferencia de lo que se observa en regiones más desarrolladas, el análisis econométrico riguroso (modelo FGLS) desafía la existencia de una Curva Ambiental de Kuznets, sugiriendo que la región no ha alcanzado un umbral donde el desarrollo económico resulte en una disminución de la huella de carbono. Por otro lado, la incorporación de energías renovables (ene_renov) se establece como el factor mitigador más poderoso y estadísticamente relevante, demostrando ser una estrategia eficaz para la descarbonización en el contexto latinoamericano.

La evolución de la innovación en América Latina respecto a su impacto ambiental es diagnosticada como incipiente, pero con dirección correcta. Los primeros modelos econométricos no lograron identificar un efecto claro, sugiriendo una aparente desconexión entre la actividad innovadora y los resultados ambientales. Sin embargo, un análisis más detallado indica que la innovación conceptual (innov_conc), relacionada con investigación y desarrollo, sí tiene un efecto reductivo sobre las emisiones, a pesar de que su significancia estadística sea marginal ($p=0.051$). Esto permite concluir que el ecosistema innovador en la región ha comenzado a producir resultados positivos, aunque aún no haya alcanzado la escala o masa crítica necesaria para convertirse en un motor significativo del cambio macroeconómico.

Se estima que la influencia de la innovación en la reducción de emisiones de CO₂ en América Latina es real pero modesta y dependiente de una correcta especificación econométrica. El modelo FGLS, diseñado para corregir distorsiones estadísticas, muestra un

coeficiente negativo y marginalmente significativo para la innovación conceptual (innov_conc), cuantificando su pequeño pero existente efecto mitigador. Esta evidencia es fundamental ya que sugiere que el impacto de la innovación había sido previamente subestimado u oculto. Por consiguiente, se concluye que, aunque actualmente la innovación no representa el principal factor en la reducción de emisiones—rol ocupado por las energías renovables—sí actúa como una palanca válida para el cambio cuya influencia, aunque limitada hoy día, respalda la hipótesis de que las políticas dirigidas a fomentar I+D verde son una inversión estratégica crucial para lograr descarbonización a largo plazo en esta región.

5.2 Recomendaciones

Dado que la continua expansión económica sigue generando un aumento en las emisiones y no se observa un punto de inflexión natural (Curva de Kuznets), se aconseja a los gobiernos de América Latina que trabajen activamente en la desvinculación del crecimiento del desarrollo económico respecto a su huella de carbono. Esto requiere dar prioridad y acelerar la implementación de políticas para una transición energética, ya que la integración de energías renovables ha demostrado ser la estrategia más eficaz y con mayor repercusión. Es fundamental fortalecer los incentivos para invertir en proyectos relacionados con la energía solar, eólica e hidroeléctrica, al tiempo que se deben establecer mecanismos (como impuestos sobre el carbono o la eliminación de subsidios a combustibles fósiles) que desincentiven actividades económicas intensivas en carbono, obligando al mercado a considerar los costos ambientales asociados al crecimiento.

Teniendo en cuenta que la innovación presenta un efecto mitigador todavía incipiente y limitado, se recomienda construir un ecosistema de innovación más sólido y dirigido. Esto implica no solo aumentar tanto la inversión pública como privada en Investigación y Desarrollo (I+D), sino también orientarla estratégicamente hacia "tecnologías verdes" y soluciones para la descarbonización. Es esencial fortalecer los vínculos entre centros de investigación, universidades y el sector productivo para asegurar que las patentes y desarrollos conceptuales se conviertan en aplicaciones comerciales viables. Asimismo, es necesario establecer programas de incubación y aceleración para startups dedicadas a tecnología climática (cleantech) capaces de implementar soluciones innovadoras en la región.

Para transformar el papel marginal de la innovación en un motor principal del cambio, se sugiere implementar un marco coherente de políticas públicas que genere una demanda del mercado por eco-innovación. La evidencia indica que solo innovar no es

suficiente; se necesita un entorno que haga dicha innovación rentable y necesaria. Por lo tanto, es crucial complementar el impulso hacia I+D con regulaciones ambientales más severas, fijar estándares mínimos de eficiencia energética para los sectores industrial y del transporte, así como crear mercados funcionales del carbono. Estas acciones enviarán señales claras y sostenidas al sector privado, indicando que invertir en tecnologías limpias es no solo una responsabilidad ambiental, sino también una oportunidad comercial esencial para competir en el futuro.

Para futuros investigadores, sería valioso profundizar en los factores específicos que obstaculizan la transición de la innovación patentada a su aplicación comercial en el sector de las "tecnologías verdes" en América Latina. Mientras que el texto actual recomienda fortalecer los vínculos entre la academia y la industria, una próxima investigación podría analizar cuantitativa y cualitativamente las barreras concretas, como la falta de financiamiento en etapas tempranas (capital semilla), los marcos regulatorios que no favorecen a las startups de cleantech, o la ausencia de infraestructura para pruebas y escalado de nuevas tecnologías.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hémous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American economic review*, 102(1), 131-166.
<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.102.1.131>
- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hémous, D., Martin, R., & Van Reenen, J. (2016). Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1-51.
<https://doi.org/10.1086/684581>
- Albert, M. J. (2024). *Navigating the Polycrisis*. MIT Press.
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ccHMEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Albert,+M.+J.+\(2024\).+Navigating+the+Polycrisis.+MIT+Press.&ots=z9d7e-atAc&sig=afrFHKpCGWQHqq9TSA6HWpv92IE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ccHMEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Albert,+M.+J.+(2024).+Navigating+the+Polycrisis.+MIT+Press.&ots=z9d7e-atAc&sig=afrFHKpCGWQHqq9TSA6HWpv92IE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Alvarez, A., Balsalobre, D., Shahbaz, M., & Cantos, J. M. (2017). Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels. *Energy policy*, 105, 386-397.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517301490>
- Álvarez, I., Natera, J., & Castillo, Y. (2019). Generación y transferencia de ciencia, tecnología e innovación como claves de desarrollo sostenible y cooperación internacional en América Latina. *Documentos de trabajo (Fundación Carolina): Segunda época*, 19, 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113385>
- Anser, M. K., Iqbal, W., Ahmad, U. S., Fatima, A., & Chaudhry, I. S. (2020). Environmental efficiency and the role of energy innovation in emissions reduction. *Environmental*

- Science and Pollution Research*, 27(23), 29451-29463.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09129-w>
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). *Application to employment equations*.
<http://www.econ.illinois.edu/~econ508/Papers/arellanobond91.ps>
- Arias, B. (2024). *Reformas a las políticas de atracción de inversión extranjera directa de Costa Rica para atraer e incentivar la investigación y desarrollo cumpliendo con los estándares y evaluaciones de la OCDE*.
<https://repositorio.una.ac.cr/items/3e45ecd8-9ff5-4602-ace1-cb7170b7d836>
- Arias, D., Gavela, P., & Riofrio, J. (2022). Estado del arte: Incentivos y estrategias para la penetración de energía renovable. *Revista Técnica energía*, 18(2), 91-103.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2602-84922022000100091
- Arias, F. (2006). Desarrollo sostenible y sus indicadores. *Sociedad & Economía*, 11, 8.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8752096>
- Arias, P. A., Villegas, L. D., Mesa, O. J., Pabón, J. D., Arango, J., Arango-Aramburo, S., Armenteras, D., Berrouet, L., Barahona, R., & Barco, J. (2022a). Implicaciones metodológicas e inconsistencias de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(180), 769-794.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S037039082022000300769&script=sci_arttext
- Arias, P. A., Villegas, L. D., Mesa, O. J., Pabón, J. D., Arango, J., Arango-Aramburo, S., Armenteras, D., Berrouet, L., Barahona, R., & Barco, J. (2022b). Implicaciones metodológicas e inconsistencias de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas,*

- Físicas y Naturales*, 46(180), 769-794.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082022000300769&script=sci_arttext
- Arundel, A. V., & Kemp, R. (2009). *Measuring eco-innovation*.
<https://cris.maastrichtuniversity.nl/files/935280/guid-179b803e-4ed5-4ee6-ac67-5ee8489bf1de-ASSET1.0.pdf>
- Baltagi, B. H. (2008). Forecasting with panel data. *Journal of Forecasting*, 27(2), 153-173.
<https://doi.org/10.1002/for.1047>
- Banco Mundial. (2022). Hoja de ruta para la acción climática en américa latina y el caribe. *Grupo Banco Mundial, Washington DC*.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099720409072236507/pdf/P1757390190fc60ff09f7a0cd027f00166a.pdf>
- Baste, I. A. (2021). *Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*.
<https://www.sidalc.net/search/Record/oai:wedocs.unep.org:20.500.11822-34948/Description>
- Bocken, N. M., & Geradts, T. H. (2020). Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. *Long range planning*, 53(4), 101950.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024630119301062>
- Bocken, N. M. P., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.
<https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

- Bringezu, S., Ramaswami, A., Schandl, H., O'Brien, M., Pelton, R., Acquatella, J., Ayuk, E. T., Chiu, A. S. F., Flanegin, R., & Fry, J. (2019). *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*.
<https://policycommons.net/artifacts/4423627/assessing-global-resource-use/5220246/>
- Cadena, A., White, O., & Lamanna, C. (2023). What could a new era mean for Latin America? *McKinsey Global Institute*.
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/mckinsey%20global%20institute/our%20research/what%20could%20a%20new%20era%20mean%20for%20latin%20america/what-could-a-new-era-mean-for-latin-america.pdf>
- Campos, J., Miner, K., Arias, F., & Navas, S. (2024). Co-operative Contributions to Mitigating the Global Water Crisis, with Examples from Costa Rica. *REVISTA DE ECONOMÍA SOCIAL Y SOLIDARIA; CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LA ECONOMÍA*, 3(1), 211.
https://www.researchgate.net/profile/Federico-Li-Bonilla/publication/393676607_El_ecosistema_institucional_de_la_economia_social_y_solidaria/links/687552413c12dc437a3eb382/El-ecosistema-institucional-de-la-economia-social-y-solidaria.pdf#page=211
- Cárdenas, M., & Pierpaolo, C. (2023). *Acción climática conjunta entre Europa y América Latina y el Caribe: Una agenda común para el desarrollo*.
<https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2104>
- Castillo, D., Mejías, L., Roque, E., Valentini, A., & Rübcke, J. (2023). Panorama y desafíos de la tecnología educativa en América Latina y el Caribe. *Southern Voice*.
<https://www.summaedu.org/wp-content/uploads/2025/05/Tecnologia-educativa-LAC-Castillo-et-al-2023.pdf>

- CEPAL, N. (2022). *Panorama Social de América Latina y el Caribe 2022: La transformación de la educación como base para el desarrollo sostenible*.
<https://www.sidalc.net/search/Record/dig-cepal-11362-48518/Description>
- Coraggio, J. L. (2011). *Economía Social y Solidaria: El trabajo antes que el capital*. Editorial Abya-Yala. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=B-RZEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Coraggio,+J.+\(2011\).+Econom%C3%ADa+Social+y+Solidaria.+El+Trabajo+antes+que+el+capital.+Quito,+Ecuador:+Ediciones+Abya-Yala.&ots=3ZQlDzcuiB&sig=f7gXrFNhwlEtrntW9RVOH_TA-Q](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=B-RZEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Coraggio,+J.+(2011).+Econom%C3%ADa+Social+y+Solidaria.+El+Trabajo+antes+que+el+capital.+Quito,+Ecuador:+Ediciones+Abya-Yala.&ots=3ZQlDzcuiB&sig=f7gXrFNhwlEtrntW9RVOH_TA-Q)
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., & Salman, M. (2019). The effects of economic growth and innovation on CO2 emissions in different regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(15), 15028-15038. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04891-y>
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., Salman, M., Boamah, K. B., Ampon-Wireko, S., & Kofi Dogbe, C. S. (2021). Innovación, apertura comercial y emisiones de CO2 en países seleccionados de África. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125143. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125143>
- Dechezleprêtre, A., Martín, R.-P., & Mohnen, M. (2014). *Knowledge spillovers from clean and dirty technologies*. Centre for Economic Performance London, UK. <https://www.aeaweb.org/conference/2016/retrieve.php?pdfid=13945&tk=hF5H6k6f>
- Díaz, H., & Sosa, M. (2025). La teoría de la innovación: De la destrucción creativa a la innovación sostenible y sustentable. *Análisis Económico*, 40(104), 153-174. <https://analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/1372>
- Du, S., Bstieler, L., & Yalcinkaya, G. (2022). Sustainability-focused innovation in the business-to-business context: Antecedents and managerial implications. *Journal of*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296321006500>

EPA, O. (2023). *Sources of Greenhouse Gas Emissions* [Overviews and Factsheets].

<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

Fagerberg, J., & Verspagen, B. (2021). Technological revolutions, structural change, and

catching up. *New perspectives on structural change: causes and consequences of structural change in the global economy*, 131, 155.

<https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=OB0gEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA131&dq=technological+Revolutions+and+Financial+Cap&ots=aWi3YO2W5a&sig=zsUFRoouNFInzRSfZHDhNoMthGI>

Fernández, Y., Fernández, M. A., & Olmedillas, B. (2018). Innovación para la

sostenibilidad: El impacto del gasto en I+D en las emisiones de CO₂. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.001>

Fialho, T. M., Cordeiro, L. C., Timotio, J. G. M., & Santiago, W. de P. (2025). La relación

entre la inclusión financiera y la inclusión social: Evidencias de Brasil. *El trimestre económico*, 92(366), 451-475. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-718X2025000200451&script=sci_arttext

Franco, A. R., & Ruíz, L. K. C. (2020). IPBES para ciudadanos: Breve aproximación a la

Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. *Revista Mutis*, 10(2), 37-50. <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1616>

Fraser, M., Haigh, L., & Soria, A. C. (2023). *The circularity gap report 2023*.

https://policycommons.net/artifacts/3370831/63c5511395a3b8eba384baa9_cgr20202320-20report/4169635/

- Gao, G., & Lin, Y. (2025). Cooperación China-América Latina en materia de energía limpia. *Ibero-América Studies*, 9(1), 14-30.
<https://iberiamerica.org/index.php/p/article/view/110>
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science*, 357(6357), 1242-1244.
<https://doi.org/10.1126/science.aao3760>
- Gómez, I., Sabán, M. D. C., Sánchez, B., Barriguete, L. M., & Sáenz, M. B. (2019). *Formación de profesionales para una ciudadanía planetaria: La educación para el desarrollo sostenible en los títulos de grado de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid*.
<https://docta.ucm.es/entities/publication/93dcae4b-5930-458c-929b-fcc7979e0e6f>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377.
<https://academic.oup.com/qje/article-abstract/110/2/353/1826336>
- Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1251-1271. <https://www.jstor.org/stable/1913827>
- Hernández, P. (2023). *El capital social como dimensión del desarrollo sostenible: Su influencia en el desempeño económico agregado y de las organizaciones sociales de producción en Ecuador*. <https://dehesa.unex.es/handle/10662/18458>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la. *Ciudad de México: Mc Graw Hill*, 12, 20. <http://petroquimex.com/PDF/SepOct17/Desarrolla-IMP-Metodologia.pdf>
- Herrera, P., Huepe, M., & Trucco, D. (2025). *Educación y desarrollo de competencias digitales en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1bcc9786-a37c-4325-ba30-efe8b5f26022/content?utm_source=chatgpt.com

Hickel, J. (2019). Is it possible to achieve a good life for all within planetary boundaries? *Third World Quarterly*, 40(1), 18-35.

<https://doi.org/10.1080/01436597.2018.1535895>

Hsiao, C. (2022). *Analysis of Panel Data*. Cambridge University Press.

IEA, I. (2023). Net zero roadmap: A global pathway to keep the 1.5° C goal in reach. *International Energy Agency Report*.

Intergovernmental Panel On Climate Change. (2021). Climate change 2007: The physical science basis. *Agenda*, 6(07), 333.

https://www.slvwd.com/sites/g/files/vyhlif1176/f/uploads/item_10b_4.pdf

Kemp, R., & Horbach, J. (2007). Measurement of competitiveness of eco-innovation. *Measuring Eco-innovation Project (MEI)*, 1-32.

[https://www.researchgate.net/profile/Jens-](https://www.researchgate.net/profile/Jens-Horbach/publication/254655518_Measurement_of_competitiveness_of_eco-innovation/links/53e285910cf275a5fdd95868/Measurement-of-competitiveness-of-eco-innovation.pdf)

[Horbach/publication/254655518_Measurement_of_competitiveness_of_eco-innovation/links/53e285910cf275a5fdd95868/Measurement-of-competitiveness-of-eco-innovation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jens-Horbach/publication/254655518_Measurement_of_competitiveness_of_eco-innovation/links/53e285910cf275a5fdd95868/Measurement-of-competitiveness-of-eco-innovation.pdf)

Le Clercq, J. A. (2024). La insoportable levedad de la justicia climática en el AR6 del IPCC. *Foro internacional*, 64(3), 573-610.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-013X2024000300573&script=sci_arttext

MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of industrial ecology*, 2(1), 23-44.

http://emf.s3.amazonaws.com/downloads/Towards_A_Circular_Economy.pdf

- Mahmood, H. (2023). Trade, FDI, and CO2 emissions nexus in Latin America: The spatial analysis in testing the pollution haven and the EKC hypotheses. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14439-14454. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23154-x>
- Manzanares, G. (2020). Desarrollo sostenible y políticas públicas: Enfoque de la ONU y ecología política. *Revista de la Academia Nicaragüense de Ciencias Jurídicas y Políticas*, 6(12), 73-87. <http://www.revistaancjp.org/index.php/ancjp/article/view/66>
- Masson, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., & Zhou, B. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Mazzucato, M. (2021a). *Mission economy: A moonshot guide to changing capitalism*. Penguin UK. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xyWyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=Mazzucato,+M.+\(2021\).+Mission+Economy:+A+Moonshot+Guide+to+Changing+Capitalism.+Allen+Lane.&ots=_lB9Wu8t9i&sig=KA9CpBxSDy0NsfHmfaqYsyYMOmE](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xyWyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=Mazzucato,+M.+(2021).+Mission+Economy:+A+Moonshot+Guide+to+Changing+Capitalism.+Allen+Lane.&ots=_lB9Wu8t9i&sig=KA9CpBxSDy0NsfHmfaqYsyYMOmE)
- Mazzucato, M. (2021b). *Mission economy: A moonshot guide to changing capitalism*. Penguin UK. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xyWyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=Mazzucato,+M.+\(2021\).+Mission+Economy:+A+Moonshot+Guide+to+Changing+Capitalism.+Allen+Lane.&ots=_lB9Wu9m5j&sig=kAuxyfTPriqZIw5kOqewVE8eFA](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xyWyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=Mazzucato,+M.+(2021).+Mission+Economy:+A+Moonshot+Guide+to+Changing+Capitalism.+Allen+Lane.&ots=_lB9Wu9m5j&sig=kAuxyfTPriqZIw5kOqewVE8eFA)

- Mensah, C., Long, X., Boamah, K., Bediako, I., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of innovation on CO2 emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(29), 29678-29698. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>
- Monge-González, R., Rivera, L., Mulder, N., & Méndez, J. (2023). *Los servicios digitales como nuevo motor de la integración regional y de crecimiento en América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/ricardomonje.pdf>
- Naidoo, S. (2022). Commentary on the contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *South African Journal of Science*, 118(9-10), 16-19. <https://www.ajol.info/index.php/sajsci/article/view/233487>
- Nandi, S., & Nandi, M. (2020). A Framework to Apply Porter and Kramer's "Creating Shared Value" Approach: Evidence from a Business Model's Success and Failure in Africa. *SAM Advanced Management Journal*, 85(4), 40-43. <https://search.proquest.com/openview/49c810c11c29df035a62f31253cf0e30/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40946>
- Newell, R., Raimi, D., & Aldana, G. (2019). Global energy outlook 2019: The next generation of energy. *Resources for the Future*, 1(8), 1-37. <http://www.econ2.jhu.edu/courses/101/GlobalEnergyOutlook2019.pdf>
- Nogueira, M. B. H., Lole, A., & Carrara, V. A. (2024). Banco Mundial ea Teoria do Capital Humano: Educação e conhecimento para o capital. *Serviço Social & Sociedade*, 147(3), e-6628389. <https://www.scielo.br/j/sssoc/a/3TbGyFpCRfyRyYJCBhXYHdw/>

- OECD. (2018, octubre 22). *Directrices para la recopilación, presentación de informes y uso de datos sobre innovación*, 4.^a edición. OECD.
https://www.oecd.org/en/publications/oslo-manual-2018_9789264304604-en.html
- Olivares, J. A., & Hernández, C. (2021). ¿La curva Ambiental de Kuznets sigue siendo válida para explicar la degradación? Una revisión teórica. *Economía Coyuntural*, 6(3), 3-52. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2415-06222021000300003&script=sci_arttext
- O'Neill, D. W., Fanning, A. L., Lamb, W. F., & Steinberger, J. K. (2018). A good life for all within planetary boundaries. *Nature sustainability*, 1(2), 88-95.
<https://www.nature.com/articles/s41893-018-0021-4>
- PNUD. (2021). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Buenos Aires*.
[https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/R46/APR%202021_Proyecto%20Regional%20PNUD-SIGOB%20\(final\).pdf](https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/R46/APR%202021_Proyecto%20Regional%20PNUD-SIGOB%20(final).pdf)
- Popp, D. (2002). Induced innovation and energy prices. *American economic review*, 92(1), 160-180. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/000282802760015658>
- Popp, D., Newell, R. G., & Jaffe, A. B. (2010). Energy, the environment, and technological change. *Handbook of the Economics of Innovation*, 2, 873-937.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169721810020058>
- Purwono, R., Sugiharti, L., Esquivias, M. A., Fadliyanti, L., Rahmawati, Y., & Wijimulawiani, B. S. (2024). *Social Sciences & Humanities Open*.
https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Esquivias-2/publication/379821399_The_impact_of_tourism_urbanization_globalization_and_renewable_energy_on_carbon_emissions_Testing_the_inverted_N-shape_environmental_Kuznets_curve/links/661e515966ba7e2359e1ecf6/The-

impact-of-tourism-urbanization-globalization-and-renewable-energy-on-carbon-emissions-Testing-the-inverted-N-shape-environmental-Kuznets-curve.pdf

Qamruzzaman, M. (2024). *Environmental Sustainability in Bangladesh through renewable energy, foreign direct investment, and trade openness: Evidence from Load Capacity Factor and Inverted Load Capacity factor with Fourier Functions*.
<https://www.researchsquare.com/article/rs-5004183/latest>

Rey, K., Leguizamón, G. M., González, E., & Becerra, M. (2021). Análisis de brechas del sector de biocombustibles en Colombia. *INVENTUM*, 16(30), 61-90.
<https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2636>

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Riestra, L. (2018). Las dimensiones del desarrollo sostenible como paradigma para la construcción de las políticas públicas en Venezuela. *Tekhné*, 21(1).

Rivera, L. (2017). *El régimen internacional de energía promovido por los grandes consumidores: Creación de la agencia internacional de energía (1974) y de la agencia internacional de energías renovables (2009)* [Master's Thesis, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador].
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/11657>

Rojas, T., Mármol, M., & Itúrburu, A. (2025). Nuevos retos de la comunicación ambiental: Revisiones en el cambio cultural climático. *Revista Enfoques de la Comunicación*, 13, 21-64.
<https://revista.consejodecomunicacion.gob.ec/index.php/rec/article/view/252>

- Sánchez, I., García, R., & Chávez, N. (2024). Emisiones de CO2 y crecimiento económico en la región de América Latina. *Revista Equilibrio Económico*, 20(57), 6-32.
<https://revistas.uadec.mx/equilibrioekonomico/article/view/84>
- Sánchez, J. (2023). Medio ambiente y desarrollo sostenible: Desafíos contemporáneos para la CEPAL y América Latina y el Caribe. *Revista de la CEPAL*, 2023(141), 131-158.
<https://repositorio.cepal.org/bitstreams/7aae2906-a819-4367-9c11-44cfdb9d1ba1/download#page=133>
- Schröder, P., Albaladejo, M., Ribas, P. A., MacEwen, M., Tilkkanen, J., & Ambiente, M. (2020). La economía circular en América Latina y el Caribe. *Oportunidades para fomentar la resiliencia*. Londres: Chatham House.
https://www.catedrasostenibilidadaege.org.do/Portals/0/OpenContent/Files/468/La_economia_circular_en_America_Latina_y_el_Caribe_compressed-2.pdf
- Schumpeter, J. A. (2013). *Capitalism, socialism and democracy*. routledge.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203202050/capitalism-socialism-democracy-joseph-schumpeter>
- Sculley, J. (2020). *Moonshot!: Game-Changing Strategies to Build Billion-Dollar Businesses*. RosettaBooks.
https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=d8omDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=Moonshot+Guide+to+Changing+Capit&ots=3XQjtL_8fe&sig=7NIaMIJLkUzK3DkF52vIXpQhJiw
- Sen, A. (2000). El desarrollo como libertad. *Gaceta ecológica*, 55, 14-20.
<https://www.redalyc.org/pdf/539/53905501.pdf>
- Sepúlveda, S. (2008). *PARA ESTIMAR EL NIVEL DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE TERRITORIOS*.

http://infoandina.org/infoandina/sites/default/files/publication/files/Sepulveda_BIOGRAMA_2008.pdf

Shahbaz, M., Nasreen, S., Abbas, F., & Anis, O. (2015). Does foreign direct investment impede environmental quality in high-, middle-, and low-income countries? *Energy Economics*, 51, 275-287.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988315001905>

Stern, D. I. (2018). The environmental Kuznets curve. En *Companion to Environmental Studies* (pp. 49-54). Routledge.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315640051-11/environmental-kuznets-curve-david-stern>

Töbelmann, D., & Wendler, T. (2020). The impact of environmental innovation on carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118787.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619336571>

Turiel, A. (2023). «World Energy Outlook 2023».?' Cómo vamos a bajar esos picos? *Mientras tanto*, 228, 21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9180400>

Urbancová, H., & Vrabcová, P. (2023). Sustainability-oriented innovation: Crucial sources to achieve competitiveness. *Ekonomicky Casopis*, 71(1), 46-64.

<https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1193741>

Villegas, G., Chávez, A., Lujan, P., & Silva, R. (2024). Emprendimientos regionales exitosos. *TecnoHumanismo*, 4(4), 1-2.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9856599.pdf>

Vural, G. (2021). Analyzing the impacts of economic growth, pollution, technological innovation and trade on renewable energy production in selected Latin American countries. *Renewable Energy*, 171, 210-216.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.072>

- Wang, H., Cui, H., & Zhao, Q. (2021). Effect of green technology innovation on green total factor productivity in China: Evidence from spatial durbin model analysis. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125624.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620356705>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press.
[https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=hSs3AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wooldridge,+J.+M.+\(2002\).+Econometric+Analysis+of+Cross+Section+and+Panel+Data.+MIT+Press.&ots=VZQTpuS_Oo&sig=YF5nFQrB9q5r22ITXl9HVwC4UoI](https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=hSs3AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Wooldridge,+J.+M.+(2002).+Econometric+Analysis+of+Cross+Section+and+Panel+Data.+MIT+Press.&ots=VZQTpuS_Oo&sig=YF5nFQrB9q5r22ITXl9HVwC4UoI)
- Zeng, Q., Destek, M. A., Khan, Z., Badeeb, R. A., & Zhang, C. (2024). Green innovation, foreign investment and carbon emissions: A roadmap to sustainable development via green energy and energy efficiency for BRICS economies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 31(2), 191-205.
<https://doi.org/10.1080/13504509.2023.2268569>

7. Anexos

Anexo 1.

Datos

AÑOS	PAÍS	Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita)	PIB per cápita (US\$ a precios constantes de 2010)	Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final)	Población urbana (% de la población total)	Innovación: Conocimiento y resultados tecnológicos	Innovación: Resultados creativos	Instituciones	Sostenibilidad ecológica	Capital humano e investigación
2011	ARGENTINA	4,281028145	14200,26989	8,8	90,99	23,5	30,3	57	50,1	37,2
2011	BOLIVIA	1,538218699	2556,830266	18,1	66,874	14,1	16,5	42,4	43,4	31,2
2011	BRASIL	2,11062776	8935,288057	45,2	84,631	25,2	30,8	50	41,7	33,9
2011	CHILE	4,452800824	12382,37917	28,8	87,132	20,4	32,3	62,7	54,2	34,9
2011	COLOMBIA	1,539898376	5510,900488	29,6	78,335	14,1	28,8	55	52,6	30
2011	COSTA RICA	1,587802884	10453,52198	38	72,868	28,4	23,7	59,3	49,3	33,1
2011	ECUADOR	2,434523047	5657,213016	13,2	62,851	18,5	23,7	48,5	46	27
2011	EL SALVADOR	1,104499679	3488,150017	29,5	66,325	15,6	22,4	54,4	54,1	26,8
2011	GUATEMALA	0,810858922	3688,866164	67,1	48,701	14,2	15,6	44,2	47,4	25,2
2011	HONDURAS	1,09833524	2124,185097	50,9	52,543	11,2	18,2	49,1	51,4	28,4
2011	MÉXICO	4,190989787	9199,146032	9,1	78,111	16,7	28,3	51,4	44,1	34,7
2011	NICARAGUA	0,802045855	1749,504365	53,3	57,113	11,4	16,5	49,5	48,3	19,4
2011	PANAMÁ	2,709401807	11248,00342	19,7	65,437	8,4	20,4	54,2	52,3	32
2011	PARAGUAY	0,892890908	5315,393912	62,5	59,584	30	18,4	46,1	49,6	24,9
2011	PERÚ	1,642847492	5421,400644	30,6	76,617	14,5	27	49	48	25,7
2011	URUGUAY	2,26255839	14116,56045	49,7	94,612	21,5	27,4	58,6	49,9	35
2012	ARGENTINA	4,264111002	13895,63371	8,6	91,121	22,2	33,3	59,8	50,8	29,2
2012	BOLIVIA	1,604681761	2643,690813	17,4	67,315	4	20	45,5	44,8	17,7
2012	BRASIL	2,271417684	9025,324848	43,5	84,923	28,3	31,8	52,2	42	35,1

2012	CHILE	4,521602782	13017,06753	30,3	87,189	20,7	33,9	64,6	54,2	34,7
2012	COLOMBIA	1,533846498	5667,293728	29,6	78,701	19,1	31	56,1	52,8	27,7
2012	COSTA RICA	1,572163789	10832,75615	38,1	73,946	11,3	26,2	61,8	49,6	26,4
2012	ECUADOR	2,395077514	5881,381167	13,2	62,988	8,2	25	50,5	46,4	19,2
2012	EL SALVADOR	1,099055733	3572,671423	30,3	67,187	6	24	56,9	53,7	20
2012	GUATEMALA	0,824228643	3731,675784	67,4	49	4,9	17,5	45,8	47,6	17,9
2012	HONDURAS	1,135689627	2169,153819	49,3	53,202	4	20,6	50,5	51,5	19
2012	MÉXICO	4,202413546	9401,977909	9	78,405	19,6	30,1	54,5	44,3	29,6
2012	NICARAGUA	0,777036209	1835,93515	53,3	57,309	3,3	18,7	50,2	48,5	16,6
2012	PANAMÁ	2,786147667	12130,22864	21,2	65,741	6,4	22,2	57,2	52,3	21,4
2012	PARAGUAY	0,874070327	5207,027324	63,4	59,907	3,9	19,8	46,9	49,7	16,1
2012	PERÚ	1,617521506	5701,674149	30,8	76,804	11	27,9	50,6	48,3	25,5
2012	URUGUAY	2,526657951	14574,85832	47,9	94,739	16,1	28,5	62	50,1	28,3
2013	ARGENTINA	4,34225013	14071,50868	8,9	91,249	20,6	33	59	49,2	27,6
2013	BOLIVIA	1,686987922	2777,720529	16	67,699	4,3	18,5	45,6	44	16,4
2013	BRASIL	2,413446537	9216,14336	42,3	85,209	27,7	30,5	51,1	40,9	32,8
2013	CHILE	4,740083124	13318,59489	30,2	87,246	20,4	32,4	64,5	53,4	32,4
2013	COLOMBIA	1,680987882	5899,554495	32	79,061	18,1	30,2	55,5	51,8	26,1
2013	COSTA RICA	1,623425478	10975,69576	37,8	74,97	11,1	25,4	62	48,3	25
2013	ECUADOR	2,525035157	6078,439563	11,8	63,125	8	23,8	50,3	45	18
2013	EL SALVADOR	1,043675014	3638,162801	27,5	68,036	5,4	21,7	56,9	53,5	19,2
2013	GUATEMALA	0,867210614	3802,153802	67,2	49,311	4,7	15,6	45,9	46,6	16,3
2013	HONDURAS	1,080835925	2187,830941	51,1	53,858	3,8	18,2	50,2	50,4	17,1
2013	MÉXICO	4,056055227	9404,59628	9,2	78,699	18,4	29,8	54,5	43,2	27,6
2013	NICARAGUA	0,731005548	1898,455186	54,3	57,505	3,1	16	49,6	47,6	15,6
2013	PANAMÁ	2,682755401	12741,38045	20,7	66,052	5,8	20,1	57,1	51,5	21,1
2013	PARAGUAY	0,882701828	5561,548479	62,5	60,197	3,7	17,5	46,5	49	14,8
2013	PERÚ	1,656254081	5977,255891	28,4	76,989	10,2	26,5	50,2	47,1	23,6
2013	URUGUAY	2,176045049	15205,45613	51,9	94,843	14,9	27,1	61,4	48,4	26
2014	ARGENTINA	4,209111895	13567,94842	9,8	91,377	18,4	29,1	61,4	54,2	29,5

2014	BOLIVIA	1,7842194	2882,806893	15	68,047	8,4	21,4	54	55,6	17,6
2014	BRASIL	2,51459196	9183,470768	41,7	85,492	21,6	33,6	56,5	61,1	32,2
2014	CHILE	4,328593459	13421,53802	27	87,303	25,9	35,3	78,3	52,3	37,7
2014	COLOMBIA	1,715820964	6106,862095	32,1	79,415	15,8	28,3	63,6	56,1	25,7
2014	COSTA RICA	1,616811387	11240,71096	37,6	75,941	22,2	34,4	74,8	49	33,5
2014	ECUADOR	2,619452044	6215,838092	12,2	63,261	9,5	24,9	62,3	52,7	19,9
2014	EL SALVADOR	1,061626926	3686,095565	24	68,874	9,1	24,3	65,2	46,1	22,6
2014	GUATEMALA	0,914557102	3903,059615	66,2	49,634	7,8	20,2	56,8	51,9	19,8
2014	HONDURAS	1,08285131	2213,437985	52,2	54,514	8,1	21,5	58,6	49,5	20,5
2014	MÉXICO	3,892355248	9553,266081	9,8	78,993	19,4	32,1	66,4	55,4	31
2014	NICARAGUA	0,766443602	1960,700255	53	57,7	6,4	18,9	57,2	50,2	16,4
2014	PANAMÁ	2,766436784	13155,45367	19,8	66,371	13,7	27,1	72,5	50,5	28,8
2014	PARAGUAY	0,924028535	5774,583479	62,5	60,474	7,1	19,4	54,4	54,8	18,1
2014	PERÚ	1,751594051	6056,107926	28,6	77,173	14,9	26,6	63,9	55,9	25
2014	URUGUAY	1,91658249	15649,41434	56,7	94,945	21,3	31,9	75,6	53,1	35,6
2015	ARGENTINA	4,301913806	13789,06042	9,4	91,503	18,5	28,2	59,4	54,2	28,6
2015	BOLIVIA	1,803674183	2975,648811	14,2	68,393	7,9	21,5	53	55,9	17,1
2015	BRASIL	2,365360621	8783,225984	43,7	85,77	20,8	33,8	55,7	61,5	32,4
2015	CHILE	4,603236105	13569,9478	25,1	87,36	26,4	35,7	77,2	52,5	38,2
2015	COLOMBIA	1,719390231	6228,426299	31,1	79,764	16	28,7	62,5	56,3	26,1
2015	COSTA RICA	1,539842157	11529,95453	38,3	76,862	22,4	34,5	73,6	49,3	33,8
2015	ECUADOR	2,555603263	6130,586676	13,1	63,398	9,8	25,2	61,1	52,9	20,1
2015	EL SALVADOR	1,123018116	3761,51368	21	69,7	9,3	24,6	64,5	46,3	22,8
2015	GUATEMALA	1,057073109	3994,636913	63,3	49,971	8	20,4	55,5	52,1	20
2015	HONDURAS	1,133809708	2257,222712	50,8	55,165	8,2	21,6	57,5	49,8	20,7
2015	MÉXICO	3,925368326	9753,380048	9,2	79,285	19,8	32,4	65,7	55,6	31,2
2015	NICARAGUA	0,839345518	2025,324776	50	57,895	6,6	19	56,5	50,4	16,5
2015	PANAMÁ	2,681231882	13669,55944	22	66,696	13,9	27,4	71,7	50,7	29
2015	PARAGUAY	1,030681699	5861,401895	60,5	60,75	7,3	19,7	53,5	55	18,3
2015	PERÚ	1,776300578	6180,194957	27,4	77,357	15,2	26,8	62,8	56,1	25,3

2015	URUGUAY	1,956378507	15655,937	59,4	95,045	21,5	32,2	74,3	53,4	35,9
2016	ARGENTINA	4,201815869	13360,21183	9,4	91,627	18,1	29,4	57,8	53	28,2
2016	BOLIVIA	1,893693651	3054,892547	13,6	68,738	7,6	21,4	52,1	55,6	16,7
2016	BRASIL	2,161259847	8426,853352	45,4	86,042	20,2	33,2	54,9	60,9	31,9
2016	CHILE	4,783525703	13644,62293	24,6	87,422	26	36	75,9	51,7	38,4
2016	COLOMBIA	1,753795803	6290,852117	30,5	80,108	15,7	28,1	61,1	55,8	25,6
2016	COSTA RICA	1,619528412	11893,32259	34,1	77,735	22,1	35,1	72,7	48,8	34,4
2016	ECUADOR	2,420480809	5965,643273	14,8	63,534	9,7	25	60,3	51,9	20,3
2016	EL SALVADOR	1,139922982	3845,022496	20,7	70,501	9,1	24,2	63,1	45,8	22,5
2016	GUATEMALA	1,10261826	4034,158482	63,2	50,319	7,9	20,1	54,8	51,3	19,9
2016	HONDURAS	1,098712815	2303,875879	52,7	55,813	8	21,3	56,8	49,1	20,4
2016	MÉXICO	3,920323024	9897,150062	9,2	79,577	19,2	32	64,7	54,9	30,9
2016	NICARAGUA	0,846846297	2087,708599	49,5	58,09	6,3	18,8	55,9	49,8	16,3
2016	PANAMÁ	2,645680837	14099,93632	22,1	67,027	13,6	27	70,6	50,3	28,7
2016	PARAGUAY	1,147764782	6025,096769	62,5	61,026	7	19,2	52,8	54,2	18
2016	PERÚ	1,826380485	6337,65811	27,2	77,539	14,7	26,3	61,5	55,5	24,8
2016	URUGUAY	1,911408105	15869,43348	60,3	95,144	21	31,6	73,5	52,8	35,7
2017	ARGENTINA	4,070111687	13595,03736	10,4	91,749	18,6	26,3	60	50,3	26,7
2017	BOLIVIA	1,891315429	3135,031644	14,3	69,08	9	21,1	49,2	74,4	15,1
2017	BRASIL	2,185486619	8470,950789	45,3	86,309	24,6	30,9	56,5	61	27,7
2017	CHILE	4,743802419	13615,52353	24,1	87,49	22,9	33,3	68,4	64,4	27,5
2017	COLOMBIA	1,565075176	6280,663838	32,2	80,446	15	28,5	59	53,8	23,7
2017	COSTA RICA	1,636715779	12267,16135	33,3	78,56	10,1	26,4	69,5	49	22,9
2017	ECUADOR	2,308763807	6012,803317	17	63,67	7,9	25,1	54,3	66	19,2
2017	EL SALVADOR	1,012486089	3921,315865	25	71,275	7	19,6	58,6	57,1	19,8
2017	GUATEMALA	1,027517281	4091,268	65	50,68	5,4	18,7	52,3	65,3	15,6
2017	HONDURAS	0,974047356	2373,788855	45,6	56,457	4,9	20,1	53,4	53,8	17,5
2017	MÉXICO	3,862759412	9997,686914	10,1	79,867	21,4	31,2	60,1	45,9	28,2
2017	NICARAGUA	0,837724434	2153,612732	48,9	58,299	4,8	17	51,4	55,5	14,3
2017	PANAMÁ	2,474668969	14634,8425	23,6	67,365	10	23,5	60,9	66,2	21,2

2017	PARAGUAY	1,246325175	6226,68542	60,1	61,3	6,8	19	52,7	70,3	15
2017	PERÚ	1,717243013	6400,116615	27,6	77,72	10,5	24,4	53,5	59	21,1
2017	URUGUAY	1,783589504	16088,00203	60,8	95,24	17	27,5	66,5	63,8	27,2
2018	ARGENTINA	3,975650744	13105,39716	10,5	91,87	19	27,5	60,6	50,1	27,5
2018	BOLIVIA	1,88518817	3219,200886	14,3	69,425	9,4	22,2	49,1	74,2	15,1
2018	BRASIL	2,064261479	8553,876187	46,9	86,569	23,6	30,3	56,8	61,1	27,2
2018	CHILE	4,629657059	13906,77022	25,5	87,564	23,3	33,4	69	64,3	28,3
2018	COLOMBIA	1,610391517	6320,762084	30,4	80,778	15,2	29,3	59,1	53,5	24,2
2018	COSTA RICA	1,620121197	12470,95672	33,1	79,34	10,5	27,1	70,4	49,3	22,7
2018	ECUADOR	2,366829826	5976,245345	16,3	63,821	8	24,8	54	65,9	19,3
2018	EL SALVADOR	1,090587479	4009,716555	23,2	72,023	7,4	19,8	58,5	57,2	19,7
2018	GUATEMALA	1,105753673	4163,484461	64	51,054	5,4	18,9	52,5	65,1	15,9
2018	HONDURAS	0,922234079	2423,273299	48,9	57,096	5	20,2	53,5	53,9	17,5
2018	MÉXICO	3,587489305	10120,36354	10,3	80,156	21,6	31,7	60,1	46	28,4
2018	NICARAGUA	0,764549887	2052,133383	51,3	58,522	4,8	17,2	51,2	55,4	14,3
2018	PANAMÁ	2,381318791	14922,13	24,5	67,709	10,2	23,8	61,2	66,3	21,3
2018	PARAGUAY	1,297481674	6338,513678	59,2	61,585	6,9	19,2	52,9	70,1	15,1
2018	PERÚ	1,695130882	6530,502977	27,9	77,907	10,6	24,5	53,4	59,1	21
2018	URUGUAY	1,910014526	16142,04869	60,8	95,334	17,3	28	66,3	63,7	27,1
2019	ARGENTINA	3,742029812	12716,2242	10,7	91,991	18,7	27,7	60,8	49,9	27,3
2019	BOLIVIA	1,853461506	3242,948843	13,5	69,773	9,4	22,7	49,4	74	15,3
2019	BRASIL	2,050770129	8592,221538	47,5	86,824	23,8	30,6	56,6	61,2	27,2
2019	CHILE	4,827620075	13765,11825	25,3	87,643	23,2	33,3	69,1	64,2	28,4
2019	COLOMBIA	1,577820141	6403,877096	31,5	81,104	15,1	29,4	59	53,6	24,4
2019	COSTA RICA	1,564824452	12662,42214	33,4	80,076	10,5	27,5	70,6	49,4	22,8
2019	ECUADOR	2,285055011	5863,910566	17,7	63,986	8	25	54,2	65,8	19,4
2019	EL SALVADOR	1,25994054	4104,917889	19,4	72,746	7,5	19,9	58,4	57,3	19,9
2019	GUATEMALA	1,145372815	4263,078053	62,8	51,439	5,4	19,1	52,4	65	16
2019	HONDURAS	1,023855315	2446,10531	46,2	57,73	5,1	20,5	53,5	53,7	17,6
2019	MÉXICO	3,612165141	10013,70319	10,3	80,444	21,8	31,9	60,3	46,1	28,5

2019	NICARAGUA	0,77010182	1947,407615	50,5	58,76	4,8	17,4	51,3	55,3	14,4
2019	PANAMÁ	3,095050433	15122,51727	19	68,059	10,3	24	61,4	66,2	21,4
2019	PARAGUAY	1,240668873	6229,224895	60,1	61,879	7	19,5	53	69,9	15,2
2019	PERÚ	1,735641775	6550,52824	27,1	78,099	10,7	24,6	53,6	59,2	21,1
2019	URUGUAY	1,985381557	16192,15921	59,3	95,426	17,2	28,3	66,5	63,6	27,2
2020	ARGENTINA	3,40561754	11341,26837	9,8	92,111	43,82	38,26	31,94	28,33	43,89
2020	BOLIVIA	1,539464696	2920,197443	16,9	70,123	43,41	24,51	25,43	24,51	32,98
2020	BRASIL	1,942523356	8204,202726	50	87,073	42,94	31,94	31,94	31,94	42,94
2020	CHILE	4,395151064	12767,30391	26,7	87,727	41,4	38	20,74	20,74	41,4
2020	COLOMBIA	1,552259423	5865,654095	32	81,425	43,67	34,75	34,75	43,67	43,67
2020	COSTA RICA	1,35999555	12058,00291	36,4	80,771	41,4	34,27	34,27	41,4	41,4
2020	ECUADOR	1,957575349	5331,976611	20,2	64,166	34,27	34,27	34,27	34,27	34,27
2020	EL SALVADOR	1,013280244	3761,754132	23,7	73,444	24,85	24,85	24,85	24,85	24,85
2020	GUATEMALA	1,000407336	4124,699981	65,5	51,836	33,41	33,41	33,41	33,41	33,41
2020	HONDURAS	0,872911172	2190,971873	50,2	58,359	25,06	25,06	25,06	25,06	25,06
2020	MÉXICO	3,040766375	9147,053505	12,3	80,731	42,4	42,4	24,8	42,4	42,4
2020	NICARAGUA	0,678252104	1886,513111	52,2	59,012	36,17	36,17	36,17	36,17	36,17
2020	PANAMÁ	2,231443025	12230,03959	28,5	68,414	38,13	38,13	38,13	38,13	38,13
2020	PARAGUAY	1,144591192	6095,391375	61,5	62,183	24,14	24,14	24,14	24,14	24,14
2020	PERÚ	1,398566019	5749,018732	31,6	78,297	43,82	43,82	43,82	43,82	43,82
2020	URUGUAY	1,89971905	15197,95892	61,2	95,515	20,92	20,92	20,92	20,92	20,92
2021	ARGENTINA		12402,49079	9,2	92,229	18,7	18,7	31,9	36,5	43,9
2021	BOLIVIA		3061,73861	12,8	70,475	13,2	23,7	19,9	19,2	28,5
2021	BRASIL		8537,93922	46,5	87,317	25,3	25,3	36	38,9	46,1
2021	CHILE		14115,96014	24,2	87,817	36,2	35,1	40	36,2	39,5
2021	COLOMBIA		6418,097751	29,7	81,74	19,2	19,2	29,4	36,2	44,4
2021	COSTA RICA		12894,296	34,2	81,425	41,4	34,5	34,3	42,8	41,4
2021	ECUADOR		5492,489271	18,9	64,361	13,2	13,2	19,9	19,2	28,5
2021	EL SALVADOR		4134,321689	21,9	74,118	22,4	22,4	22,4	19,2	29,3
2021	GUATEMALA		4388,436803	62,1	52,245	19,9	19,9	19,9	19,2	27,7

2021	HONDURAS	2428,029181	45,9	58,982	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
2021	MÉXICO	9525,409684	13	81,016	34,8	34,8	24,8	36,2	46,1
2021	NICARAGUA	2052,90086	50,4	59,277	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
2021	PANAMÁ	13921,26274	28	68,775	38,1	38,1	38,1	36,2	38,1
2021	PARAGUAY	6264,894736	58,8	62,496	25,4	25,4	25,4	36,5	27,7
2021	PERÚ	6437,102023	30,6	78,5	19,2	19,2	38,9	38,9	37,4
2021	URUGUAY	15874,73799	57,8	95,603	23,1	22,4	44	36,5	27

Anexo 2.

Pruebas realizadas a los modelos

Tabla 6.

Test de Heterocedasticidad

Estadístico	Valor
Chi² (16)	444.89
Prob > Chi²	0.0000

Nota. Elaboración propia

Tabla 7 .

Test de Autocorrelación

Estadístico	Valor
F(1, 15)	11.528
Prob > F	0.0040

Nota. Elaboración propia

Tabla 8 .

Test de Hausman

Variable	FE1 (b)	RE1 (B)	Diferencia (b-B)	Error estándar
gdpperc	0.0004062	0.0004024	0.00000376	0.0000627
gdpp2	-1.14e-08	-1.16e-08	0.000000000186	0.00000000219
pob_urb	-0.0636935	-0.0423530	-0.0213405	0.0054892
ene_renov	-0.0370706	-0.0343863	-0.0026844	0.0023041
innov_conc	-0.0012700	-0.0013954	0.0001254	.
innov_crea~o	-0.0044698	-0.0052960	0.0008263	.
instit	-0.0014045	0.00000770	-0.0014122	.
sost_ecol	-0.0000880	-0.0006236	0.0005356	.
Test Hausman	Chi2(7) = 18.20	-	Prob > Chi2 = 0.0111	(V_b-V_B no definida positiva)

Nota. Elaboración propia