

Este documento ha sido traducido por el Área de Servicios de Información, Traducción y Lenguas Originarias de la Biblioteca del Congreso de la República con fines meramente informativos para los usuarios de la institución. Se trata de una traducción no oficial del texto en inglés «Association among financial development, economic growth, ecological footprint, and carbon emissions in India: a VECM analysis». La versión en español no ha sido verificada por esta institución ni por los autores.*

Título del documento:

Inglés: «Association among financial development, economic growth, ecological footprint, and carbon emissions in India: a VECM analysis»

Nº de páginas: 16

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2024.2448769>

DOI: <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2448769>

Fecha de publicación del documento: 15 de enero del 2025

Español: «Asociación entre el desarrollo financiero, el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de carbono en la India: un análisis del Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM)»

Nº de páginas: 21

Fecha de documento: noviembre del 2025

Institución: Taylor & Francis Online

Derechos de autor: Sarika Keswani
Este artículo es de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite cualquier uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite adecuadamente el trabajo original. Los términos en los que se ha publicado este artículo permiten la publicación del manuscrito aceptado en un repositorio por parte del autor o autores, o con su consentimiento.

**Sobre el emisor
o productor:**

Taylor & Francis es una de las editoriales más grandes del mundo dedicada a la investigación de acceso abierto, con un programa de revistas que satisface las necesidades de una amplia gama de disciplinas y áreas temáticas.

* N. de la T.: Documento traducido del inglés al español por el Área de Servicios de Información, Traducción y Lenguas Originarias de la Biblioteca del Congreso de la República (EVR)

ESTUDIOS DE ÁREA | ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Asociación entre el desarrollo financiero, el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de carbono en la India: un análisis del Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM)

Sarika Keswani^a, Narmada Mariayala^a, Mohit Kumar^a y Vipra Dhingra^b

Centro Symbiosis de Estudios de Gestión (SCMS, Nagpur), Universidad Internacional Symbiosis (SIU), Pune, India; ^bFacultad de Comercio, NMIMS Indore, Madhya Pradesh, India.

ABSTRACTO

Este estudio explora las complejas relaciones entre el desarrollo financiero, el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de carbono, destacando los impactos ambientales del crecimiento económico y financiero de la India. Como el tercer mayor emisor de carbono a nivel mundial, los desafíos de desarrollo sostenible de la India hacen que esta investigación sea crucial para los responsables de formular políticas. El estudio, que abarca el período comprendido entre 1990 a 2022, utiliza un Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM) para identificar las relaciones de cointegración tanto a corto como a largo plazo entre estas variables. La prueba de causalidad de Granger basada en el VECM revela conexiones significativas a largo plazo entre las emisiones de carbono, el desarrollo financiero, el crecimiento económico y la huella ecológica. Los resultados indican una correlación positiva, lo que sugiere que las emisiones de carbono aumentan a medida que se incrementa el crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica. Estos hallazgos brindan información valiosa para diseñar políticas, que equilibren el avance económico con la protección ambiental en la India.

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido el 19 de junio de 2024.

Revisado el 6 de noviembre de 2024. Aceptado el 23 de diciembre de 2024.

PALABRAS CLAVE:

Emisiones de carbono
Crecimiento económico
Huella ecológica y
Desarrollo financiero

Temas:

Salud y seguridad
Desarrollo sostenible
Finanzas

1. Introducción

El calentamiento global es una amenaza crítica para el planeta, agravada significativamente por el aumento del consumo de energías no renovables tras la revolución industrial, lo que provocó un incremento en los gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases, incluidos el dióxido de carbono y el metano, son los principales responsables del efecto invernadero, que impulsa el cambio climático (Kirikkaleli y Kalmaz, 2020). Las actividades humanas, desde los procesos industriales hasta la vida cotidiana, se han convertido en importantes riesgos globales, que causan directa o indirectamente la degradación ambiental e influyen en la salud del planeta (Alam et al., 2011; Alkhathlan & Javid, 2013; Al-Amer et al., 2022; Balsalobre-Lorente et al., 2024).

^a **CONTACTO** Sarika Keswani sarika.keswani@scmsnagpur.edu.in Centro Symbiosis de Estudios de Gestión (SCMS, Nagpur), Universidad Internacional Symbiosis (SIU), Pune, India <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2448769>. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de atribución *Creative Commons* (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite adecuadamente el trabajo original. Los términos en los que se ha publicado este artículo permiten la publicación del manuscrito aceptado en un repositorio por parte del autor o autores, o con su consentimiento.

En los últimos 30 años, el calentamiento global ha atraído la gran atención de las organizaciones internacionales y los economistas ambientales, quienes enfatizan la necesidad de una acción climática efectiva (Hussain et al., 2022 ; Mumuni y Hamadjoda Lefe, 2023). A pesar de la conciencia global sobre los problemas ambientales, su impacto varía según la región, y los países difieren en su compromiso con la reducción de emisiones, como se describe en el Acuerdo de París. Los principales emisores, como China, India, la Unión Europea y Estados Unidos, se enfrentan a una presión cada vez mayor para mejorar sus medidas de protección medioambiental (Boutabba, 2014; Dogan y Shah, 2021 ; Eia, 2014 ; Ghosh, 2010 ; Alola y otros, 2022).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)-7 subraya la necesidad de una energía limpia y asequible, esencial para diversos sectores, como la agricultura, la educación, los negocios, la comunicación, la salud y el transporte. Si bien se está avanzando hacia los objetivos de energía sostenible, la brecha sigue siendo significativa, ya que muchas personas en todo el mundo aún carecen de acceso a soluciones energéticas modernas y sostenibles (Krzywanski et al., 2023; Jie y Deng, 2023). Este estudio tiene como objetivo destacar la urgencia de abordar estos desafíos energéticos y climáticos, abogando por esfuerzos acelerados y una implementación más amplia de prácticas sostenibles.

Los ODS presentan una paradoja: abogan por la «armonía con la naturaleza» y, al mismo tiempo, aspiran a un crecimiento anual del PBI mundial cercano al 3 % (Objetivo 8). Esto genera una tensión entre los objetivos relacionados con la sostenibilidad ambiental (Objetivos 6, 12, 13, 14 y 15) y el desarrollo económico. Equilibrar estos objetivos sigue siendo un desafío global, ya que mejorar la eficiencia y conciliar el crecimiento con la preservación del medio ambiente son cruciales para lograr el desarrollo sostenible (Menyah & WoldeRufael, 2010; Öztürk & Acaravci, 2010; Hickel, 2019; Rahman & Lamsal, 2021).

La contaminación y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) están estrechamente vinculadas con el crecimiento de la población mundial y la utilización de los recursos (Jie y Deng, 2023). Según datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) del año 2021, las emisiones globales de CO₂ procedentes de los procesos industriales y la combustión de energía alcanzaron un máximo histórico, con un aumento del 6 % con respecto al año anterior, hasta alcanzar las 36,3 gigatoneladas (Gt). La pandemia del COVID-19 redujo inicialmente las emisiones globales de CO₂ un 5,2 % en 2020; sin embargo, la rápida recuperación económica de 2021 provocó un fuerte aumento de las emisiones, superando los niveles de 2020 en aproximadamente 2,1 Gt. Este aumento, estrechamente alineado con un aumento del 5,9 % del PBI mundial, pone de relieve la persistente relación entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂, una tendencia que refleja aumentos anteriores, como los observados tras la crisis financiera mundial de 2010.

Si las tendencias actuales continúan, la Agencia Internacional de Energía (AIE) proyecta un aumento del 130 % en las emisiones para el año 2050. Esta tendencia es preocupante, dado que los acuerdos globales, incluido el Protocolo de Kioto, aún no han reducido las emisiones significativamente. Por ejemplo, India, que presenta altos niveles de contaminación a pesar de las regulaciones de calidad del aire desde 1981, ocupa el tercer lugar entre los países más contaminados. Datos de la Organización Mundial de la Salud revelan que 14 de las 15 ciudades de India sufren una contaminación grave (Rahman et al., 2015; Ziramba, 2009, 2015; Liu y otros, 2022).

India, con una población superior a los 1.400 millones de habitantes, representa el 17,7 % de la población mundial y abarca una superficie de 2.973.190 kilómetros cuadrados. La densidad de población del país es de 464 habitantes por km², de los cuales el 35,0 % residía en zonas urbanas en el año 2020. Con una edad media de 28,4 años, India es uno de los países más jóvenes del mundo, lo que refleja la compleja interacción entre la dinámica demográfica, el desarrollo económico y los desafíos ambientales.

Este estudio tiene como objetivo investigar detalladamente estas dinámicas, centrándose en la intersección crítica del crecimiento económico, el consumo de energía y la sostenibilidad ambiental en el contexto de las tendencias globales y regionales.

1.1 Brecha en la investigación

La brecha en la investigación para comprender las complejas interacciones entre el crecimiento económico, el desarrollo financiero, la huella ecológica y las emisiones de carbono en el contexto específico de la India, utilizando el enfoque del Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM), surge principalmente debido al limitado número de estudios que investigan a fondo estas variables de forma específica. Si bien existe una gran cantidad de investigaciones que examinan la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de carbono, y algunos estudios que exploran la conexión entre el desarrollo financiero y los resultados ambientales, surge una notable falta de investigación exhaustiva que abarque todos estos factores en el contexto indio. Además, la investigación previa a menudo se basó en diversas metodologías y modelos que podrían no cubrir plenamente las complejas interrelaciones a largo plazo entre estas variables. El enfoque VECM, con su capacidad para dilucidar las dinámicas a corto y largo plazo, ofrece una vía prometedora para obtener una comprensión más precisa de los complejos vínculos entre el crecimiento económico, el desarrollo financiero, la huella ecológica y las emisiones de carbono.

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal de esta investigación fue examinar cómo el crecimiento económico, junto con otros factores, impacta en las emisiones de carbono. Además de este objetivo general, el estudio se estructuró con los siguientes objetivos:

- a. Realizar un análisis exhaustivo de las asociaciones a corto y largo plazo entre el crecimiento económico, la huella ecológica, el desarrollo financiero y las emisiones de carbono.
- b. Identificar el factor predominante que influye en las fluctuaciones de las emisiones de carbono.
- c. Brindar recomendaciones pertinentes para orientar a los responsables de la formulación de políticas hacia la reducción efectiva de las emisiones de dióxido de carbono.

2. Revisión de la literatura

La investigación institucional subraya la preocupación apremiante por la degradación ambiental en la sociedad (Jepsen y de Bruyn, 2019). La conexión entre el desarrollo económico y la disponibilidad de recursos naturales genera preocupaciones legítimas. Algunos académicos argumentan por la actividad económica en los países ricos en recursos mediante el creciente comercio y desarrollo, mientras que otros afirman que los excedentes de recursos naturales obstaculizan el progreso a largo plazo, dependiendo de los enfoques adoptados (Erum y Hussain, 2019).

Baek y Kim (2013) examinaron los países del Ártico entre 1960 y 2010, utilizando modelos de Autoregresivos de Rezagos Distribuidos (ARDL) y de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para explorar la relación entre el crecimiento económico (IR) y las emisiones de CO₂, revelando una correlación significativa.

Shafiei y Salim (2014) realizó una investigación en países de la OCDE entre 1980 y 2011, analizando variables como el PBI, el PBI², las energías renovables (ER), las energías no renovables (ENR) y la población (POP) como posibles factores que influyen en las emisiones de CO₂. Su estudio empleó diversas metodologías, incluyendo las pruebas de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP), y las técnicas de cointegración, revelando diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Bölük y Mert (2015) se centraron en Turquía y analizaron datos de 1961 a 2010. Su investigación empleó pruebas de raíz unitaria y métodos de cointegración para evaluar el impacto de la energía

renovable (ER), la energía no renovable (ENR) y el producto bruto interno (PBI) en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), destacando asociaciones inversas entre ENR y emisiones de CO₂, así como asociaciones directas entre la ER y las emisiones de CO₂.

Seker et al. (2015) realizaron un estudio similar en Turquía, considerando datos de 1974 a 2010, donde se exploraba el consumo de energía (CE), el PBI, el PBI² y la inversión extranjera directa (IED) como variables independientes, que afectan las emisiones de CO₂. Sus hallazgos, en consonancia con la investigación de Bölük y Mert, indican relaciones positivas entre la IED y las emisiones de CO₂, así como entre el CE y las emisiones de CO₂.

Jebli et al. (2016) centraron su atención en los países de la OCDE y analizaron datos de 1980 a 2010. Evaluaron el impacto del Producto Bruto Interno (PBI), las energías renovables (ER), las energías no renovables (ENR) y la industrialización (ITR) en las emisiones de CO₂. Sus hallazgos demostraron asociaciones negativas entre las ER y las emisiones de CO₂, así como entre las ITR y las ER, y las emisiones de CO₂.

Dogan y Seker (2016) centraron su investigación en la Unión Europea, examinando datos de 1980 a 2012. Investigaron la influencia de las energías renovables (ER), las energías no renovables (ENR), la investigación e innovación (II) y la apertura comercial (AC) en las emisiones de CO₂. Al utilizar un estimador dinámico de Mínimos Cuadrados Ordinarios, se encontraron relaciones negativas entre las ER y la AC con las emisiones de CO₂, y una relación positiva entre las ENR y las emisiones de CO₂.

Ito (2017) analizó datos de 42 países desarrollados entre 2002 y 2012. Asimismo, exploró el impacto de las energías renovables (ER), las energías no renovables (ENR) y el PBI en las emisiones de CO₂ mediante regresión cuantil y otros modelos. Los resultados indicaron una relación negativa entre las ENR y las emisiones de CO₂, y una relación positiva entre las ER y las emisiones de CO₂.

Salman et al. (2019) se centraron en los países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN), y evaluaron datos de 1990 a 2017. Su estudio consideró diversas variables económicas y ambientales como factores independientes, que influyen en las emisiones de CO₂ que usan Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y regresión cuantil de panel. Su investigación reveló diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Erdogan et al. (2020) exploraron los países de la OCDE entre 1990 y 2014, centrándose en el PBI, las energías renovables (ER), las energías no renovables (ENR), la producción de petróleo (PP) y la apertura comercial (AC) como variables independientes que afectan las emisiones de CO₂. Al utilizar pruebas de raíz unitaria y diversos modelos de mínimos cuadrados, sus hallazgos revelaron relaciones mixtas entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Akram et al. (2020) analizaron 66 países en desarrollo entre 1990 y 2014, con especial atención a la eficiencia energética (EE), las energías renovables (ER), el consumo nacional de energía (CNE) y el PBI como variables independientes que afectan las emisiones de CO₂. Su investigación abarcó técnicas de MCO y regresión cuantil de panel, revelando diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Abbas et al. (2021) llevaron a cabo una investigación en Pakistán, considerando datos de 1970 a 2018, y evaluó el consumo de energía no renovable (CENR), el consumo de energía renovable (CER), la huella ecológica (EF), la urbanización (URB) y el comercio como variables independientes que influyen en las emisiones de CO₂. Utilizaron las técnicas de Mínimos Cuadrados Ordinarios Totalmente Modificados (FMOLS), y Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos (DOLS) e identificaron diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Adedoyin et al. (2021) se centraron en Japón, considerando datos de 1970 a 2018. Su investigación examinó la influencia de las energías renovables (ER), el PBI, el avance tecnológico (AT), el índice de complejidad económica (ICE) y el riesgo crediticio (RC) como variables independientes que afectan las emisiones de CO₂. Utilizaron los métodos Autorregresivo de Rezagos Distribuidos dinámico (ARDL) y de mínimos cuadrados regularizados basados en Kernel (KRLS), lo que arrojó relaciones mixtas entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Yaqoob et al. (2021) realizaron una investigación en Pakistán y analizaron el impacto de diversas variables económicas y ambientales en las emisiones de CO₂ y otros gases mediante un análisis FODA. Sus hallazgos indican relaciones mixtas entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Zulqarnain et al. (2021) se centraron en Malasia en 2020, considerando específicamente la producción de biodiésel y el análisis paramétrico como variables independientes que afectan las emisiones de CO₂. Su investigación reveló diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Anwar et al. (2021) realizaron un estudio exhaustivo de los países de la ASEAN entre 1990 y 2018, considerando el PBI, las energías renovables y las energías no renovables como variables independientes que influyen en las emisiones de CO₂. Su investigación incorporó diversos modelos, y los resultados indicaron relaciones mixtas entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Adebayo et al. (2022) se centraron en Suecia y examinó datos de 1965 a 2019. Su investigación exploró el impacto de las energías renovables (ER), la apertura comercial (AC) y el crecimiento económico sobre las emisiones de CO₂ mediante una regresión cuantil sobre cuantil. Sus hallazgos también revelaron diversas relaciones entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Liu et al. (2022) se centraron en los países BRICS y analizó datos de 1992 a 2013. Su investigación examinó el consumo de energía renovable (CER), consumo de energía no renovable (CENR), producto bruto interno (PBI) y el valor agregado agrícola (AVA) como variables independientes que afectan las emisiones de CO₂. Emplearon un método generalizado de momentos, que reveló relaciones mixtas entre estas variables y las emisiones de CO₂.

Estos estudios brindan información valiosa sobre las intrincadas relaciones entre diversas variables independientes y las emisiones de CO₂, mostrando correlaciones tanto positivas como negativas en diferentes países y períodos.

3. Metodología de la investigación

En esta sección se describe la metodología de investigación utilizada en el presente estudio, incluyendo el diseño de la investigación, la determinación del tamaño de la muestra, el muestreo, la recopilación de datos y los métodos de análisis.

Este estudio utilizó una metodología de investigación cuantitativa para investigar las relaciones de causa y efecto entre variables. Se centró en el impacto del crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica de la India en las emisiones de CO₂ que utilizan un diseño descriptivo. El crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica se consideraron variables independientes, mientras que las emisiones de CO₂ fueron las variables dependientes.

Se recopilaron datos durante 31 años, desde abril de 1991 hasta marzo de 2022, para garantizar resultados sólidos y fiables. Se empleó una técnica de muestreo aleatorio para recopilar datos secundarios de diversos sitios web, lo que mejoró la representatividad y redujo el sesgo.

Se utilizaron varios métodos de análisis de datos y software estadístico para facilitar la interpretación precisa de los datos.

3.1 Recopilación de datos

Los investigadores utilizaron datos secundarios para facilitar la ejecución del estudio. Estos conjuntos de datos secundarios se obtuvieron de diversos sitios web, cuyos detalles se explican a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuentes de datos de las variables macroeconómicas en estudio

Detalles de las variables	Descripción de las variables	Fuente de datos y periodo
Variable dependiente		
Emisiones de CO ₂	El dióxido de carbono (CO₂) es un gas que exhalan de forma natural los organismos vivos y que se genera adicionalmente durante la combustión del carbón. Su clasificación como gas de efecto invernadero se atribuye a su capacidad para retener el calor dentro de la atmósfera terrestre. El término «emisiones» abarca el volumen agregado de los gases de efecto invernadero y sus precursores que se descargan en la atmósfera dentro de una región geográfica y un marco temporal específicos. Entre los posibles orígenes de las emisiones se incluyen las actividades inducidas por el ser humano en sectores como la industria, el transporte y la generación de energía. Además, los fenómenos naturales, como los incendios forestales y las erupciones volcánicas, también pueden contribuir a la liberación de gases de efecto invernadero. Sitio web del RBI, datos anuales de abril de 1991 a marzo de 2022.	Sitio web del Banco Mundial, datos anuales de abril de 1991 a marzo de 2022
Variables independientes		
Crecimiento económico	El producto bruto interno (PBI) se utilizó como métrica para cuantificar el crecimiento económico. El PBI es el valor monetario agregado de todos los bienes y servicios producidos dentro de los límites territoriales de un país durante un período de tiempo determinado. Esta métrica ofrece una visión global de la prosperidad económica de un país y las funciones como medida precisa para evaluar la producción nacional total.	Sitio web del Banco de la Reserva de la India (RBI), datos anuales de abril de 1991 a marzo de 2022
Desarrollo financiero	El desarrollo financiero se cuantificó utilizando la métrica del crédito interno al sector privado. Esta métrica abarca los activos financieros proporcionados por las instituciones financieras al sector privado, incluyendo préstamos, adquisiciones de valores no participativos, crédito comercial y otras obligaciones financieras que requieren reembolso. Esta medición ofrece información valiosa sobre la accesibilidad de los recursos financieros destinados a la inversión del sector privado y puede funcionar como un indicador del nivel de desarrollo financiero dentro de una nación en particular.	Sitio web del RBI, datos anuales de abril de 1991 a marzo de 2022
Huella ecológica	La huella ecológica sirve como medida de las consecuencias medioambientales de las acciones humanas, en particular sobre los ecosistemas de la Tierra. Funciona como una metodología empleada para calcular la extensión de tierra, agua y otros recursos naturales esenciales para la producción de los bienes y servicios que consume una población, así como para la absorción de los residuos y la contaminación resultantes de las actividades humanas.	Sitio web del Banco Mundial, datos anuales de abril de 1991 a marzo de 2022

3.2 Análisis de datos

Se empleó una combinación de análisis descriptivos e inferenciales para evaluar los datos cuantitativos recopilados. El análisis de datos se realizó con el paquete de software estadístico E-Views versión 12.0. Los datos recopilados se procesaron y presentaron, y se utilizaron diversas técnicas y modelos estadísticos para extraer conclusiones. Esta investigación empleó varios métodos analíticos, incluyendo el modelo Dickey-Fuller aumentado, pruebas preliminares, pruebas de estabilidad, análisis de cointegración, el Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM), el Análisis de Respuesta al Impulso y la Técnica de Descomposición de Varianza (VAD) (Yousaf et al., 2023, Keswani y Wadhwa, 2021) para investigar las relaciones entre las variables seleccionadas. Estos métodos facilitaron un análisis exhaustivo de los datos, arrojando luz sobre las interrelaciones entre las variables examinadas.

4. Resultados y discusión

4.1. Pruebas preliminares

4.1.1. Prueba de multicolinealidad

Para examinar uno de los supuestos fundamentales que afirma que los regresores no deberían presentar correlación mutua, se realizó una prueba de multicolinealidad. La hipótesis evaluó si existía multicolinealidad cuando varios factores se correlacionaban entre sí.

En este estudio, se empleó el método del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) para evaluar la multicolinealidad. Según este enfoque, una regla general es que si el VIF supera diez para cualquier variable explicativa, indica colinealidad entre las variables.

4.1.1.1. Resultados de la multicolinealidad

H0: No hay evidencia de multicolinealidad entre las variables seleccionadas.

4.1.1.2. Interpretación. El análisis estadístico realizado en este estudio brinda evidencia a favor de la hipótesis nula. Todos los valores de VIF fueron inferiores a diez, lo que sugiere la ausencia de multicolinealidad entre las variables macroeconómicas seleccionadas. Los resultados en la Tabla 2 indican que los valores de VIF para todas las variables se encuentran dentro del rango aceptable, lo que confirma la falta de colinealidad entre estas variables explicativas.

4.1.2. Prueba de normalidad

Esta prueba se realiza para evaluar la normalidad de la distribución de datos.

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Interpretación. No se puede rechazar la hipótesis nula, que indica que los residuos siguen una distribución normal. El valor de Jarque-Bera es $> 0,05$ (2,621165) y el valor p es $> 0,05$ (0,269) (Tabla 3). Estos resultados sugieren que los residuos exhiben una distribución normal.

4.1.3 Autocorrelación

En este estudio se utilizaron pruebas de autocorrelación. Los métodos más comunes son los de Durbin-Watson, Portmanteau y Multiplicador (LM). La Tabla 4 muestra que no existe autocorrelación porque los valores p superan 0,05.

H0: No existe correlación serial.

4.1.3.1. Interpretación. Los resultados del análisis indican que no se puede rechazar la hipótesis nula, ya que el valor p (0,1444) es mayor que el nivel de significancia de 0,05. Esto sugiere que no hubo evidencia de correlación serial. Además, los resultados de la prueba LM mostrados en la Tabla 5 confirman que el Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM) estimado genera consistentemente residuos que no muestran correlación serial.

4.1.4. Heteroscedasticidad

Esta condición, conocida como heterocedasticidad, se produce cuando la varianza de los residuos muestra un patrón no constante. Por el contrario, la homocedasticidad indica que la varianza de los residuos permanece estable o casi constante. La homocedasticidad es un supuesto fundamental en el modelado de regresión lineal, que indica que el modelo de regresión refleja con precisión la variabilidad de la variable dependiente. Esto implica que el modelo explica eficazmente el comportamiento de la variable dependiente. (Tabla 5).

H0: No hay heterocedasticidad.

4.1.5. Pruebas de estabilidad

4.1.5.1. Prueba RESET (error de especificación de la ecuación de regresión) de Ramsey

H0: No existen linealidades omitidas en el modelo.

Interpretación: La «prueba de error de especificación de regresión», también conocida como prueba RESET, introducida por Ramsey, se utilizó para identificar posibles inexactitudes en la forma funcional del modelo. El valor p calculado de 0,2054 superó el umbral de significancia de 0,05 (Tabla 6), lo que indica que no existían fundamentos para rechazar la hipótesis nula. Por consiguiente, se puede inferir que no existen no linealidades omitidas en el modelo, lo que respalda la idoneidad de la forma funcional elegida.

Tabla 2. Resultados de multicolinealidad para las variables seleccionadas

Variable	VIF
Crecimiento económico	1.068435
Desarrollo financiero	1.061338
Huella ecológica	1.078335

Tabla 3. Prueba de normalidad

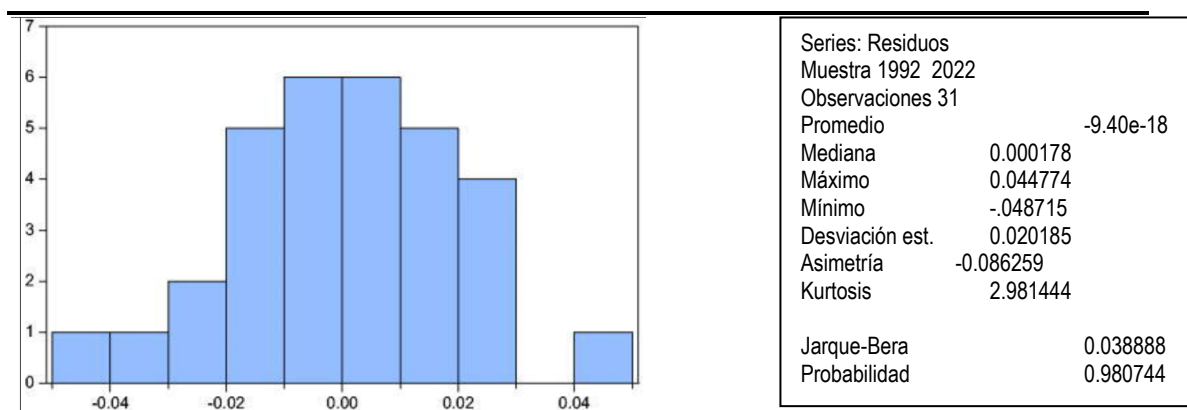


Tabla 4. Prueba de Portmanteau y prueba del Multiplicador de Lagrange (LM) para los residuos del VEC

Prueba de Multiplicador de Lagrange de Correlación serial de Breusch-Godfrey:			
Estadístico-F	1.783140	Prob. F(2,25)	0.1888
Obs* R-cuadrado	3.870111	Probabilidad Chi-Cuadrado (2)	0.1444

Tabla 5. Prueba de heterocedasticidad

Prueba de heterocedasticidad: Breusch-Pagan-Godfrey			
Estadístico-F	0.566144	Prob. F(1,28)	0.4581
Obs* R-cuadrado	0.594561	Probabilidad Chi-Cuadrado (3)	0.4407

4.1.5.2. Prueba CUSUM. El gráfico CUSUM muestra las desviaciones acumuladas de los valores de cada muestra con respecto al valor objetivo. La prueba CUSUM sirve como herramienta para evaluar la estabilidad estructural del modelo. En este estudio, se aplicó la prueba CUSUM para evaluar la estabilidad tanto a largo como a corto plazo. Se observa que los valores CUSUM, dentro de los límites críticos establecidos con un nivel de significancia del 5%, son significativos. Esta afirmación valida la estabilidad de los factores a largo y corto plazo que afectan las emisiones de carbono. Por lo tanto, los modelos se consideraron estables y bien definidos (Figura 1).

4.2. Prueba de Dickey-Fuller aumentada (ADF)

La prueba de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) es una herramienta fundamental en este estudio. Para su evaluación, se basa en el estadístico ADF, que suele ser negativo. Cuanto más negativo sea este estadístico, mayor será la evidencia para rechazar la hipótesis nula de la existencia de una raíz unitaria a un determinado nivel de confianza. En este estudio, se examinaron las variables tanto en sus valores originales como en sus diferencias iniciales.

Los resultados presentados en la Tabla 7 demuestran que, para todos los factores, no se rechaza la hipótesis nula de no estacionariedad en nivel. Sin embargo, se rechazó la hipótesis nula al considerar las primeras diferencias (Tabla 7). Como resultado, después de diferenciar las variables, estas presentan estacionariedad, lo que indica que están integradas en orden de uno (Tabla 7).

H0: Los datos no son estacionarios en nivel.

Tabla 6. Prueba RESET de Ramsey

Ecuación: SIN TÍTULO			
Variables omitidas: Cuadrados de valores ajustados			
	Valor	Df	Probabilidad
Estadístico-F	1.298791	26	0.2054
Estadístico-T	1.688958	(1, 26)	0.2054
Razón de verosimilitud	1.948701	1	0.1627

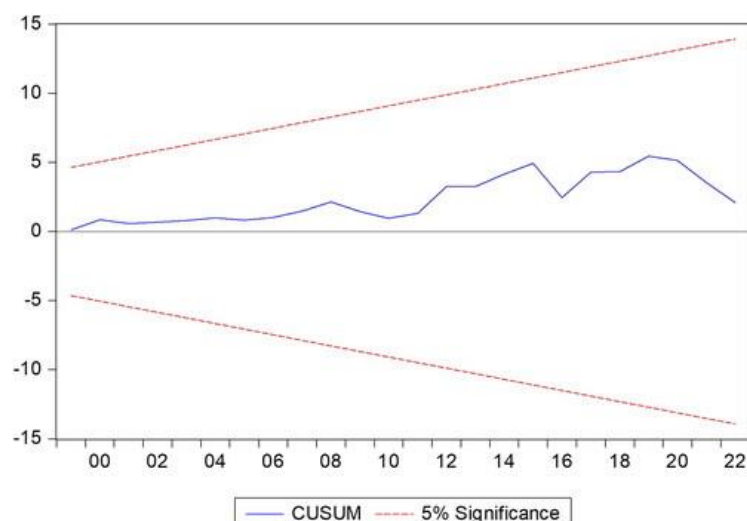


Figura 1. Prueba CUSUM.

Tabla 7. Prueba de raíz unitaria ADF en nivel.

Variables	En nivel		En la 1ª diferencia		diferencia
	Estadístico T	Valor p	Estadístico T	valor p	
Emisión de CO ₂	0.741426	0.9912	-5.010555	0.0003	I
Crecimiento económico (PBI)	-0.820231	0.9952	-6.382446	0.0000	I
Desarrollo económico	-0.528302	0.8723	-10.83529	0.0005	I
Huella ecológica	2.697299	1.0000	-5.890539	0.0005	I

4.2.1. Interpretación

Los resultados del análisis estadístico revelaron que no se puede rechazar la hipótesis nula, que plantea la no estacionariedad en nivel, no puede rechazarse, ya que el valor p supera el nivel de significancia predefinido (0,05) ($p > 0,05$). Este hallazgo indica que los datos carecen de estacionariedad en su nivel inicial, lo que sugiere que las variables no están integradas. Sin embargo, al investigar las primeras diferencias, los datos mostraron un patrón estacionario. Por lo tanto, es razonable concluir que las variables están integradas en primer orden, lo que indica que alcanzan estacionariedad después de la diferenciación.

4.2.2. Prueba de cointegración y Modelo Vectorial de Corrección de Errores

4.2.2.1. Prueba de cointegración

Cuando una combinación lineal de variables I (1) genera una serie estacionaria, las variables pueden estar cointegradas. En este caso, existe una alta probabilidad de relaciones lineales a largo plazo que indican que pueden fluctuar a corto plazo, pero que se cointegrarán a largo plazo. Los resultados de las pruebas de cointegración de Johansen entre las variables se presentan en la siguiente tabla:

H0: No hay cointegración entre las variables

Interpretación: Se rechazó la hipótesis nula porque $p < 0,05$. Los resultados de la prueba de cointegración muestran que un vector está cointegrado (Tabla 8).

La razón de verosimilitud de trazas indica que, bajo la hipótesis alternativa de hasta una ecuación de cointegración al 5%, se rechaza la hipótesis nula de no cointegración entre las variables, ya que los valores superan los límites críticos. En consecuencia, existe una ecuación integradora que muestra una asociación lineal a largo plazo entre las variables, es decir, las emisiones de CO₂, el desarrollo económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica. Por lo tanto, las estimaciones de los coeficientes de regresión pueden considerarse valores de equilibrio. Todas las variables resultaron cointegradas.

4.2.1.2. Longitud de rezago

En esta etapa, se sometió el modelo a un proceso de evaluación en el que se cuantificaron las relaciones que lo conforman. Para el modelo VAR general, se utilizaron los criterios de información de Schwarz (SIC) y de Akaike (AIC) para la selección del modelo, lo que resultó en la elección de un modelo con un rezago de 1. El objetivo fue determinar el número óptimo de parámetros que minimizara los criterios de evaluación. El AIC se eligió específicamente como punto de referencia para evitar la presencia de autocorrelación repetitiva en el modelo VAR. La longitud del rezago detallada del modelo se presenta en la Tabla 9, lo que indica un rezago de 1.

4.2.1.3. Modelo Vectorial de Corrección de Errores. Interpretación

Relación a largo plazo:

$$ECT_{t-1} = [1.000CO_{2t-1} + 0.0016EC_{t-1} + 0.2323FD_{t-1} - 0.0247GDP_{t-1} + 0.1778$$

Tabla 8. Resumen de la estimación de cointegración

Prueba traza					Prueba del valor propio máximo de Eigen				
Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Estadístico T	95% del valor crítico	Valor de significancia	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Estadístico T	95% del valor crítico	Valor Sign
$r = 0$	$r \geq 1$	115.1149	95.75366	0.0012	$r = 0$	$r \geq 1$	46.5660	40.07757	0.0080
$r = 1$	$r \geq 2$	68.51828	69.81889	0.0632	$r = 1$	$r \geq 2$	33.48157	33.87687	0.0557
$r = 2$	$r \geq 3$	35.03671	47.85613	0.4461	$r = 2$	$r \geq 3$	15.19553	27.58434	0.7326
$r = 3$	$r \geq 4$	19.84118	2.79707	0.4337	$r = 3$	$r \geq 4$	10.88590	21.13162	0.6587

Tabla 9. Longitud de rezago

Rezago	Logaritmo	Razón de verosimilitud	Error de predicción final	Criterio de información de Akaike	Criterio de información de Schwarz	Criterio de información de Hannan-Quinn
0	-398.6175	NA	1.05e + 08	29.82352	30.01549	29.88060
1	-270.0239	209.5599*	25566.37	21.48325	22.44313	21.76867
2	-270.0239	209.5599*	25566.37	21.48325	22.44313	21.76867
3	-240.9328	11.28042	44119.50	21.69873	24.19441	22.44083
4	-240.9328	11.28042	44119.50	21.69873	24.19441	22.44083
5	-156.7626	24.58185	5315.070*	17.83427*	21.86576*	19.03304*

* indica el orden de rezago seleccionado por el criterio

Ecuación de relación a corto plazo

$$CO2_t - 1 = -0.280ECT_t - 1 - 622CP2_t - 1 - 0.0006EC_t - 1 - 0.009FD_t - 1 - 0.0002GDP_t - 1 + 0.024$$

Esta prueba muestra que existe una relación a largo y corto plazo entre el desarrollo financiero, el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de carbono (Tabla 10).

4.2.1.4. Análisis de causalidad, que utiliza un Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM). Tras establecer la presencia de una relación de cointegración entre las variables, se realizó la prueba de causalidad de Granger para obtener información valiosa sobre la formulación de políticas en materia de emisiones de carbono que promuevan el crecimiento económico sostenible. Dada la cointegración observada, utilizamos el Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM), como se explicó en la sección anterior. Granger (2004) destacó que cuando las variables se integran en el primer orden ($I(1)$), el VECM es más apropiado para evaluar la causalidad. Para determinar las relaciones causales entre el desarrollo financiero, el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de CO_2 , aplicamos la prueba de causalidad de Granger del VECM de Engle y Granger (1987). Los parámetros VECM estimados se presentan en la Tabla 10.

Los resultados de la prueba VECM en la Tabla 10 revelan que los términos de corrección de errores rezagados (ECT) en el tiempo $t-1$ presentan una relación negativa y estadísticamente significativa con un nivel de significancia del 5% para la ecuación (1). La significancia de ECT_{t-1} implica que, en caso de un choque del sistema, este converge gradualmente hacia el equilibrio a largo plazo, como lo indica la estimación del coeficiente de LCO_2 (-0,280560). Posteriormente, empleamos la técnica VECM para realizar una prueba de causalidad de Granger, explorando las conexiones causales a corto y largo plazo, como se resume en la Tabla 11.

Los resultados de la prueba de causalidad a corto plazo indican un impacto significativo de las emisiones de CO_2 tanto en la huella ecológica como en el desarrollo financiero con un nivel de significancia de 0,05. Esto sugiere que las emisiones de CO_2 tienen una influencia predictiva a corto plazo tanto en la huella ecológica como en el desarrollo financiero. Sin embargo, la expansión económica no influyó en las emisiones de CO_2 en el umbral de 0,05, según el modelo de Granger.

La Tabla 11 revela una causalidad bidireccional de Granger entre la huella ecológica y las emisiones de carbono en la India con un nivel de significancia del 5%. Esto implica que un aumento en el desarrollo financiero conlleva a un aumento en las emisiones de carbono, pero no al revés. Este fenómeno puede atribuirse a la afluencia de crédito al consumo en el sector privado, lo que ha estimulado la actividad económica y aumentado el consumo de productos de alta intensidad energética, como automóviles, aires acondicionados y viviendas, amplificando así las emisiones de carbono. Además, la expansión de los servicios crediticios en el sector privado ha facilitado el apoyo financiero para el crecimiento de las empresas privadas, lo que ha resultado en un mayor consumo de energía y, consecuentemente, en un aumento de las emisiones de carbono.

Tabla 10. Modelo Vectorial de Corrección de Errores

Corrección de errores	D (CO ₂)	ECT
CointEq1	-0.280560 (0.11525) [-2.43427]	
D(CO ₂ (-1))	-0.622835 (0.15720) [-3.96217]	1.000000
D(EC(-1))	-0.000619 (0.00027) [-2.31515]	0.001622 (0.00667) [0.24321]
D(FD(-1))	-0.009112 (0.00468) [-1.94793]	0.232396 (0.11666) [1.99207]
D(GDP(-1))	-0.000259 (0.00016) [-1.58131]	-0.024786 (0.00439) [-5.64047]
C	0.024536 (0.01375) [1.78495]	0.177840

Tabla 11. Resultados de la prueba de causalidad de Granger del Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM)

Variable	Tipo de causalidad de Granger				A largo plazo Corrección del error rezagado (ECTt-1)
	A corto plazo				
	Diferencia logarítmica de las emisiones de CO ₂ (DLCO ₂)	Diferencia logarítmica de la huella ecológica (DLEP)	Diferencia logarítmica del desarrollo financiero (DLFD)	Diferencia logarítmica del producto interno bruto (DLGDP)	
DLCO2	--	5.359908 (0.0206)	3.794447 (0.0414)	0.752474 (0.3857)	-0.280560 (0.11525)
DLEP	4.978266 (0.0257)	--	0.167615 (0.6822)	0.061298 (0.8045)	-51.45001 (108.751)
DLFD	0.087656 (0.7672)	5.900288 (0.01151)	--	3.99312 (0.0456)	-5.015252 (5.25067)
DLGDP	14.21497 (0.0002)	0.010853 (0.9170)	2.358074 (0.1246)	--	-89.93939 (20.0330)

Tabla 12. Análisis de descomposición de la varianza (VDC)

Periodo	Error estándar (S.E)	Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	Crecimiento económico (EC)	Desarrollo financiero (FD)	LTOTAL
1	0.029297	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.032805	94.79752	3.719878	0.833652	0.648950
3	0.037170	86.77956	3.518667	5.648172	4.053600
4	0.043311	74.985454	3.186393	17.18918	4.639348
5	0.052535	55.47792	2.230628	39.13602	3.155436
6	0.065746	38.63965	1.524031	57.72688	2.109440
7	0.080987	28.08325	1.286647	68.77789	1.852213
8	0.097034	21.32663	1.393589	75.34035	1.934929
9	0.113091	17.16133	1.751329	79.08465	2.002691
10	0.128700	14.42871	2.222492	81.28315	2.065649
11	0.143820	12.46526	2.676024	82.75644	2.102273
12	0.158462	11.01263	3.069000	83.80085	2.117520

La prueba de causalidad a largo plazo reveló una relación causal bidireccional exclusiva entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico. Este hallazgo coincide con investigaciones previas sobre emisiones de carbono, como se observa en Hatzigeorgiou et al. (2010) y Shahbaz et al. (2020). Este consenso proporciona a los responsables políticos una confirmación adicional de la relación causal entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico en la India, lo que orienta las futuras estrategias de crecimiento financiero. Los resultados sugieren que lograr la descarbonización y reducir las emisiones de carbono en la economía india representa un desafío en las circunstancias actuales, lo que requiere ajustes en las políticas de desarrollo financiero.

4.2.1.5 Análisis de descomposición de la varianza (VDC)

Interpretación. La Tabla 12 presenta los resultados de la Descomposición de la Varianza (VDC). La evidencia empírica muestra que el choque del desarrollo económico describe las emisiones de CO₂ en un 83,80 %. Se puede afirmar que el desarrollo económico puede predecir la evolución de las emisiones de CO₂. La participación de las demás variables es mínima.

5. Discusión y resultados

Todas las variables del análisis muestran estacionariedad tras aplicar la primera diferencia, lo que las hace adecuadas para un análisis más profundo. Los resultados obtenidos en este análisis proporcionaron información valiosa sobre la dinámica de las emisiones de CO₂. Cabe destacar que los residuos del modelo siguen una distribución normal, lo que indica la ausencia de problemas como multicolinealidad, heterocedasticidad y correlación serial. Una prueba de estabilidad confirmó que el modelo se ajustó adecuadamente y mostró estabilidad.

Los resultados de cointegración revelan una sólida relación a largo plazo entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica. Además, la razón de verosimilitud de trazas rechaza la hipótesis nula de ausencia de cointegración entre las variables a favor de la hipótesis alternativa, lo que sugiere la existencia de hasta una ecuación cointegrada con un nivel de significancia del 5%, como lo indican los valores estadísticos que superan los valores críticos. Esto indica la presencia de una ecuación cointegrada, lo que implica una relación lineal a largo plazo entre las variables, cuyos coeficientes de regresión estimados representan valores de equilibrio.

Los resultados del Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM) demuestran una relación significativa y positiva a largo plazo entre las emisiones de CO₂, el crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica. Esto implica que un aumento del crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica conlleva a un aumento correspondiente de las emisiones de CO₂. Además, la prueba de causalidad de Granger del VECM revela que los cambios en el desarrollo financiero influyen de manera significativa en las emisiones de CO₂ a corto plazo con un nivel de significancia del 5%, lo que indica que el desarrollo financiero influye en la explicación de las variaciones en las emisiones de CO₂ a corto plazo.

Se empleó una prueba de descomposición de la varianza (VDC) para evaluar la contribución relativa de las variables a la predicción de las emisiones de CO₂ en la India. Los resultados del análisis de VDC indican que los choques en el desarrollo financiero explican el 83,80085% de los cambios en las emisiones de CO₂, lo que subraya el importante poder predictivo del desarrollo financiero para comprender los patrones de emisiones de CO₂. La contribución de otras variables fue comparativamente menor.

6. Conclusión

Inicialmente, el estudio se centró en una preocupación crítica en la India, un país en rápido desarrollo que ocupa el tercer lugar mundial en emisiones de carbono. Este estudio es de gran importancia para los responsables de la formulación de políticas en dicho país. Posteriormente, este estudio profundizó en los impactos individuales del desarrollo financiero, la huella ecológica y el crecimiento económico en las emisiones de carbono en dicho país. Para garantizar la credibilidad y la solidez de los resultados, se utilizaron datos extensos correspondientes al periodo 1990 - 2022.

Este estudio ofrece perspectivas fundamentales sobre la dinámica de las emisiones de carbono en la India, el tercer mayor emisor de carbono del mundo. Al examinar los impactos del desarrollo financiero, la huella ecológica y el crecimiento económico entre 1990 y 2022, el estudio presenta valiosas conclusiones e implicaciones para los responsables de la formulación de políticas en la India.

El análisis empírico confirmó una sólida relación a largo plazo entre las emisiones de carbono, el desarrollo financiero, el crecimiento económico y la huella ecológica. En concreto, el Modelo Vectorial de Corrección de Errores (VECM) mostró asociaciones positivas y significativas entre estas variables. Esto indica que el aumento en el crecimiento económico, el desarrollo financiero y la huella ecológica está vinculado con mayores emisiones de carbono a largo plazo.

La prueba de causalidad de Granger en el VECM reveló que, a corto plazo, solo el desarrollo financiero afecta significativamente las emisiones de carbono. Los cambios en el crecimiento económico y la huella ecológica no fueron estadísticamente significativos al 5%, lo que sugiere que estas variables no explican de manera sustancial estas variaciones a corto plazo en las emisiones de carbono. Cabe destacar que los choques en el desarrollo financiero representan aproximadamente el 83,80% de las fluctuaciones en las emisiones de carbono, lo que subraya su papel fundamental para predecir los cambios de emisiones a corto plazo.

Las pruebas de diagnóstico y las evaluaciones de estabilidad, incluyendo la prueba de Ramsey, CUSUM y CUSUMQ, confirmaron la solidez y estabilidad del modelo. Se distribuyeron normalmente los residuos y no se detectaron problemas de multicolinealidad, heterocedasticidad ni autocorrelación, lo que garantiza la fiabilidad de los hallazgos.

7. Recomendaciones para los responsables de la formulación de políticas

- **Enfoque sobre el desarrollo financiero:**
Dado el importante impacto del desarrollo financiero en las emisiones de carbono, los responsables de la formulación de políticas deberían priorizar estrategias que integren las consideraciones ambientales en la planificación y la inversión financieras. Mejorar los mecanismos de financiamiento verde y promover prácticas financieras sostenibles podría contribuir a mitigar la huella de carbono asociada al crecimiento financiero.
- **Abordar las tendencias a largo plazo:**
Para abordar la relación a largo plazo entre el crecimiento económico, la huella ecológica y las emisiones de carbono, resulta fundamental implementar políticas que fomenten el desarrollo económico sostenible y la protección del medio ambiente. Promover la inversión en tecnologías y prácticas verdes puede ayudar a desvincular el crecimiento económico del deterioro ambiental.
- **Monitorear y evaluar:**
El monitoreo y la evaluación continua de los efectos del desarrollo financiero, el crecimiento económico y la huella ecológica en las emisiones de carbono son esenciales. Los responsables de la formulación de políticas deberían utilizar esta información para

ajustar y perfeccionar las políticas ambientales y económicas, a fin de alcanzar con mayor eficacia los objetivos de desarrollo sostenible.

8. Limitaciones y direcciones futuras

El estudio ofrece un análisis amplio, pero puede no reflejar completamente las particularidades de las variaciones regionales en el impacto ambiental y el crecimiento económico. Factores locales específicos, como las políticas regionales, las prácticas industriales y las condiciones socioeconómicas, podrían influir en los resultados de formas que no se consideraron completamente en el análisis. El estudio se centra principalmente en datos y tendencias recientes, lo que podría omitir patrones de largo plazo o información histórica que proporcionaría una comprensión más completa de la relación entre el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. La relación entre el crecimiento económico, el consumo de energía y el impacto ambiental es muy compleja y está influenciada por numerosas variables. En consecuencia, el estudio podría simplificar estas interacciones, pasando por alto factores o relaciones importantes que podrían afectar los resultados.

Estudios de caso más detallados, enfocados en regiones o países específicos, podrían ayudar a comprender mejor las dinámicas locales y la eficacia de las políticas adaptadas a cada contexto. Dichos estudios podrían explorar cómo distintas regiones equilibran el crecimiento económico con los objetivos ambientales e identificar las mejores prácticas. Las investigaciones futuras podrían analizar el impacto de diversas intervenciones y estrategias orientadas a conciliar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental. Esto incluye analizar la eficacia de acuerdos internacionales, regulaciones nacionales e iniciativas locales. Incorporar variables adicionales, como los avances tecnológicos, los cambios en el comportamiento del consumidor y las innovaciones en eficiencia energética, permitiría una comprensión más matizada de las relaciones entre el crecimiento económico y el impacto ambiental.

9. Implicaciones del estudio

La relación entre las emisiones de carbono y el crecimiento económico es compleja, con consecuencias tanto positivas como negativas. Los avances económicos, como un mayor acceso al financiamiento y mercados financieros sólidos, pueden impulsar las inversiones en energías renovables y tecnologías bajas en carbono. Al asignar más recursos financieros a la investigación, el desarrollo y la implementación de fuentes de energía renovables, se pueden reducir las emisiones de carbono. El crecimiento económico también puede impulsar la I+D (Investigación y Desarrollo), lo que genera innovaciones que reducen las emisiones de carbono, en particular invirtiendo en tecnologías verdes, infraestructuras energéticamente eficientes y medios de transporte ecológicos. Sin embargo, es importante destacar que el crecimiento económico y el desarrollo pueden conducir a un mayor consumo de energía y a un mayor número de emisiones de carbono, especialmente en ausencia de prácticas y políticas sostenibles. Los bancos pueden desempeñar un papel importante en la promoción de la transparencia y la responsabilidad, considerando el impacto ambiental de sus evaluaciones. Los inversionistas y las partes interesadas pueden evaluar la huella de carbono de las empresas, utilizando normas de contabilidad y reportes sobre el carbono. Es fundamental reconocer que el impacto del crecimiento económico sobre las emisiones de carbono depende de diversos factores, como el contexto local, las políticas vigentes y el compromiso de los gobiernos, las empresas y los individuos. Se necesita un enfoque holístico que integre el crecimiento económico con medidas ecológicas para poder abordar eficazmente el cambio climático.

10. Limitaciones y futuras líneas de investigación

El estudio de la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de carbono presenta ciertas limitaciones y oportunidades para una exploración más profunda.

Determinar el impacto específico de las emisiones de carbono, diferenciándolo de factores como el crecimiento económico, la huella ecológica y el desarrollo financiero, puede representar un desafío. Las emisiones de carbono están influenciadas por múltiples variables, como los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales. Las investigaciones futuras deberían aplicar metodologías econométricas rigurosas para comprender mejor la relación causal entre el crecimiento económico y las emisiones de carbono. Dichas metodologías podrían incluir el análisis de datos de panel o enfoques de variables instrumentales.

Variaciones como la combinación energética, las regulaciones ambientales y el nivel de desarrollo económico pueden variar de un país a otro. Sería interesante investigar cómo factores como el PBI, la estabilidad política y la infraestructura energética contribuyen con los diversos efectos del desarrollo financiero sobre las emisiones de carbono en diferentes países.

El crecimiento económico está estrechamente vinculado con los cambios en las actitudes y comportamientos de las personas. Futuros estudios podrían explorar factores sociales y conductuales, como las preferencias de los consumidores, la percepción de los inversionistas y la concienciación pública sobre los problemas ambientales, a fin de comprender mejor la conexión entre la prosperidad financiera y las emisiones de carbono.

Contribuciones de los autores

Dra. Sarika Keswani contribuyó en la elaboración del manuscrito, la metodología de investigación y el análisis.

Sra. Narmada Mariyala participó en la redacción de la introducción y la revisión de la literatura.

Dr. Mohit Kumar aportó en el desarrollo del marco teórico y la redacción.

Dr. Vipra Dhinra contribuyó con los hallazgos, conclusiones, implicaciones y limitaciones.

Por lo tanto, declaro que todos los autores han leído y aprobado la versión final del trabajo.

Declaración de divulgación

Los autores no informaron sobre ningún posible conflicto de intereses.

Financiamiento

La Dra. Sarika Keswani recibirá financiamiento de la Universidad Internacional Symbiosis, Pune.

Notas sobre los autores

Sarika Keswani es profesora asistente de Finanzas y Contabilidad en el *Symbiosis Centre for Management Studies* (Centro Symbiosis para Estudios de Gestión) en Nagpur, Maharashtra. Posee un doctorado en Finanzas por la Universidad Internacional Symbiosis (Deemed) en Pune. Sus intereses de investigación se centran en el mercado de valores, las finanzas conductuales, las emisiones de carbono, el cambio climático y los fondos de inversión. Asimismo, ha presentado ponencias en diversas conferencias profesionales nacionales e internacionales. Ha publicado más de 15 artículos de investigación en prestigiosas revistas y congresos en el ámbito de la contabilidad, las finanzas y la economía. Ha publicado cuatro libros y seis patentes.

Narmada Mariayala, licenciada en Finanzas y con una licenciatura en Administración de Empresas (BBA) por el Centro Symbiosis de Estudios de Gestión en Nagpur. Es beneficiaria de una Beca al Mérito y ha destacado por su rendimiento académico. Adquirió experiencia en operaciones financieras y gestión contable mediante prácticas en *Sprinto Technology Pvt Ltd* y *Corizo Edutech*, utilizando herramientas como Younium, Zoho, Cacheflow y EViews. Ha completado dos trabajos académicos de ACCA, lo que demuestra su compromiso con el fortalecimiento de sus conocimientos en finanzas. Sus intereses de investigación abarcan el desarrollo financiero, el crecimiento económico y las emisiones de carbono.

Mohit Kumar es un académico e investigador con más de 15 años de experiencia. Obtuvo su doctorado en la Universidad Nirma de Ahmedabad en el año 2018 y ha trabajado en organizaciones de prestigio como ISRO (Organización de Investigación Espacial de la India) en Ahmedabad; GEMI (Instituto de Gestión Ambiental de Gujarat) en Gandhinagar; IRADe (Investigación y Acción Integradas para el Desarrollo) en Nueva Delhi; SCMS (Centro Symbiosis para Estudios de Gestión) y la Universidad Internacional Symbiosis (Deemed) en Nagpur y la Universidad Krea en Sri City, Andhra Pradesh, India. Sus líneas de investigación se centran en el cambio climático, las emisiones de carbono, el estrés térmico y la resiliencia ante desastres.

Vippa Dhingra posee un doctorado en Administración y cuenta con una acreditación en UGC-NET. Actualmente, se desempeña como profesora asistente (Marketing) en la Facultad de Comercio de NMIMS. Cuenta con una amplia experiencia de 14 años impartiendo docencia a estudiantes de pregrado y posgrado en prestigiosos institutos de gestión. Posee una sólida trayectoria en investigación en el área de marketing y ha publicado varios artículos de investigación en revistas de prestigio. En el año 2022, contribuyó al desarrollo del curso de marketing rural para estudiantes de la Universidad Nacional Abierta Indira Gandhi (IGNOU). Ha participado en diversas conferencias y ha revisado artículos de investigación en revistas especializadas en Ugc-care. Su interés docente se centra en el comportamiento del consumidor, la publicidad, el marketing digital, la gestión de relaciones con los clientes (CRM), las ventas y la distribución.

ORCID

Sarika Keswani <http://orcid.org/0000-0002-2191-3103>

Declaración sobre la disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio están disponibles a solicitud de los autores.

Referencias

- Abbas, S., Kousar, S., & Pervaiz, A. (2021). Effects of energy consumption and ecological footprint on CO₂ emissions: An empirical evidence from Pakistan. *Environment, Development and Sustainability*, 23(9), 13364–13381. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01216-9>
- Adebayo, T. S., Rjoub, H., Akinsola, G. D., & Oladipupo, S. D. (2022). The asymmetric effects of renewable energy consumption and trade openness on carbon emissions in Sweden: New evidence from quantile-on-quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(2), 1875–1886. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15706-4>
- Adedoyin, F. F., Agboola, P. O., Ozturk, I., Bekun, F. V., & Agboola, M. O. (2021). Environmental consequences of economic complexities in the EU amidst a booming tourism industry: Accounting for the role of brexit and other crisis events. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127117>
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., & Majeed, M. T. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions: Evidence from developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119122>
- Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., Rahman, S., & Van Huylenbroeck, G. (2011). Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3243–3251. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.029>
- Al-Amer, R., Maneze, D., Everett, B., Montayre, J., Villarosa, A. R., Dwekat, E., & Salamonson, Y. (2022). COVID-19 vaccination intention in the first year of the pandemic: A systematic review. *Journal of Clinical Nursing*, 31(1-2), 62–86. <https://doi.org/10.1111/jocn.15951>
- Alkhathlan, K., & Javid, M. (2013). Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Saudi Arabia: An aggregate and disaggregate analysis. *Energy Policy*, 62, 1525–1532. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.068>
- Alola, A. A., Adebayo, T. S., & Onifade, S. T. (2022). Examining the dynamics of ecological footprint in China with spectral Granger causality and quantile-on-quantile approaches. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(3), 263–276. <https://doi.org/10.1080/13504509.2021.1990158>
- Anwar, A., Siddique, M., Dogan, E., & Sharif, A. (2021). The moderating role of renewable and non-renewable energy in environment-income nexus for ASEAN countries: Evidence from Method of Moments Quantile Regression. *Renewable Energy*, 164, 956–967. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.128>
- Baek, J., & Kim, H. S. (2013). Is economic growth good or bad for the environment? Empirical evidence from Korea. *Energy Economics*, 36, 744–749. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.020>
- Balsalobre-Lorente, D., Nur, T., Topaloglu, E. E., & Evcimen, C. (2024). Assessing the impact of the economic complexity on the ecological footprint in G7 countries: Fresh evidence under human development and energy innovation processes. *Gondwana Research*, 127, 226–245. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.017>
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: An ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.138>
- Boutabba, M. A. (2014). The impact of financial development, income, energy and trade on carbon emissions: Evidence from the Indian economy. *Economic Modelling*, 40, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.03.005>
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO₂ emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.078>
- Dogan, E., & Shah, S. F. (2021). Analyzing the role of renewable energy and energy intensity in the ecological footprint of the United Arab Emirates. *Sustainability*, 14(1), 227. <https://doi.org/10.3390/su14010227>
- Eia, U. S. (2014). Annual energy outlook. *US Energy Information Administration*. Tech. Rep. DOE/EIA-0383.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Cointegration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251–276. <https://doi.org/10.2307/1913236>

- Erdogan, S., Okumus, I., & Guzel, A. E. (2020). Revisiting the Environmental Kuznets Curve hypothesis in OECD countries: The role of renewable, non-renewable energy, and oil prices. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(19), 23655–23663. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08520-x>
- Erum, N., & Hussain, S. (2019). Corruption, natural resources and economic growth: Evidence from OIC countries. *Resources Policy*, 63, 101429. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101429>
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008–3014. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.040>
- Granger, C. W. J. (2004). Time series analysis, cointegration, and applications. *American Economic Review*, 94(3), 421–425. <https://doi.org/10.1257/0002828041464669>
- Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2010). Energy CO2 emissions for 1990–2020: a decomposition analysis for EU-25 and Greece. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(20), 1908–1917. <https://doi.org/10.1080/15567030902937101>
- Hickel, J. (2019). The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet. *Sustainable Development*, 27(5), 873–884. <https://doi.org/10.1002/sd.1947>
- Hussain, N., Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2022). Carbon-based nanomaterials with multipurpose attributes for water treatment: Greening the 21st-century nanostructure materials deployment. *Biomaterials and Polymers Horizon*, 1(1), 48–58. <https://doi.org/10.37819/bph.001.01.0131>
- Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2017.02.001>
- Jebli, M. B., Youssef, S. B., & Ozturk, I. (2016). Testing environmental Kuznets curve hypothesis: The role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. *Ecological Indicators*, 60, 824–831. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.031>
- Jepsen, E. M., & de Bruyn, P. N. (2019). Pinniped entanglement in oceanic plastic pollution: A global review. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.042>
- Jie, S., & Deng, Z. H. (2023). Fact: Factor-tuning for lightweight adaptation on vision transformer. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 37(1), 1060–1068. <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i1.25187>
- Keswani, S., & Wadhwa, B. (2021). Association among the selected Macroeconomic factors and Indian stock returns. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.841>
- Kirikaleli, D., & Kalmaz, D. B. (2020). Testing the moderating role of urbanization on the environmental Kuznets curve: Empirical evidence from an emerging market. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(30), 38169–38180. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09870-2>
- Krzywanski, J., Skrobek, D., Zylka, A., Grabowska, K., Kulakowska, A., Sosnowski, M., Nowak, W., & Blanco-Marigorta, A. M. (2023). Heat and mass transfer prediction in fluidized beds of cooling and desalination systems by AI approach. *Applied Thermal Engineering*, 225, 120200. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120200>
- Liu, J., Wang, L., Wang, P., Sun, P., Liu, H., Meng, Z., Zhang, L., & Ma, H. (2022). An overview of polyoxymethylene dimethyl ethers as alternative fuel for compression ignition engines. *Fuel*, 318, 123582. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123582>
- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). Energy consumption, pollutant emissions and economic growth in South Africa. *Energy Economics*, 32(6), 1374–1382. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.08.002>
- Mumuni, S., & Hamadjoda Lefe, Y. D. (2023). Greening the environment: do climate-related development finances and renewable energy consumption matter? An African tale. *Carbon Management*, 14(1), 2251934. <https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2251934>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220–3225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.005>
- Rahman, M. S., Junsheng, H., Shahari, F., Aslam, M., Masud, M. M., Banna, H., & Liya, M. (2015). Long-run relationship between sectoral productivity and energy consumption in Malaysia: An aggregated and disaggregated viewpoint. *Energy*, 86, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.049>
- Rahman, M. M., & Lamsal, B. P. (2021). Ultrasound-assisted extraction and modification of plant-based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1457–1480. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12709>

- Salman, M., Long, X., Dauda, L., Mensah, C. N., & Muhammad, S. (2019). Different impacts of export and import on carbon emissions across 7 ASEAN countries: A panel quantile regression approach. *The Science of the Total Environment*, 686, 1019–1029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.019>
- Seker, F., Ertugrul, H. M., & Cetin, M. (2015). The impact of foreign direct investment on environmental quality: A bounds testing and causality analysis for Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.118>
- Shafiei, S., & Salim, R. A. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.064>
- Shahbaz, M., Nasir, M. A., Hille, E., & Mahalik, M. K. (2020). UK's net-zero carbon emissions target: Investigating the potential role of economic growth, financial development, and R&D expenditures based on historical data (1870–2017). *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120255. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120255>
- Yaqoob, H., Teoh, Y. H., Goraya, T. S., Sher, F., Jamil, M. A., Rashid, T., & Yar, K. A. (2021). Energy evaluation and environmental impact assessment of transportation fuels in Pakistan. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100081>
- Yousaf, I., Jareño, F., & Tolentino, M. (2023). Connectedness between Defi assets and equity markets during COVID-19: A sector analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122174. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122174>
- Ziramba, E. (2009). Disaggregate energy consumption and industrial production in South Africa. *Energy Policy*, 37(6), 2214–2220. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.048>
- Ziramba, E. (2015). Causal dynamics between oil consumption and economic growth in South Africa. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(3), 250–256. <https://doi.org/10.1080/15567249.2010.540626>
- Zulqarnain, Ayoub, M., Yusoff, M. H. M., Nazir, M. H., Zahid, I., Ameen, M., Sher, F., Floresyona, D., Budi Nursanto, E. (2021). A comprehensive review on oil extraction and biodiesel production technologies. *Sustainability*, 13(2), 788. <https://doi.org/10.3390/su13020788>