

95

CUADERNOS
DE
ECONOMÍA

ISSN 0121-4772



Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Economía
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ASESORES EXTERNOS

COMITÉ CIENTÍFICO

Ernesto Cárdenas

Pontificia Universidad Javeriana-Cali

José Félix Cataño

Universidad de los Andes

Philippe De Lombaerde

NEOMA Business School y UNU-CRIS

Edith Klimovsky

Universidad Autónoma Metropolitana de México

José Manuel Menudo

Universidad Pablo de Olavide

Gabriel Misas

Universidad Nacional de Colombia

Mauricio Pérez Salazar

Universidad Externado de Colombia

Fábio Waltenberg

Universidade Federal Fluminense de Rio de Janeiro

EQUIPO EDITORIAL

Daniela Cárdenas

Karen Tatiana Rodríguez

William David Malaver

Estudiante auxiliar

Proceditor Ltda.

Corrección de estilo, armada electrónica, finalización de arte, impresión y acabados

Tel. 757 9200, Bogotá D. C.

Gabriela Bautista Rodríguez

Fotografía de la cubierta

Indexación, resúmenes o referencias en

SCOPUS

Thomson Reuters Web of Science

(antiguo ISI)-SciELO Citation Index

ESCI (Emerging Sources Citation Index) - Clarivate Analytics

EBSCO

Publindex - Categoría B - Colciencias

SciELO Social Sciences - Brasil

RePEC - Research Papers in Economics

SSRN - Social Sciences Research Network

EconLit - Journal of Economic Literature

IBSS - International Bibliography of the Social Sciences

PAIS International - CSA Public Affairs Information Service

CLASE - Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades

Latindex - Sistema regional de información en línea

HLAS - Handbook of Latin American Studies

DOAJ - Directory of Open Access Journals

CAPES - Portal Brasileiro de Información Científica

CIBERA - Biblioteca Virtual Iberoamericana España / Portugal

DIALNET - Hemeroteca Virtual

Ulrich's Directory

DOTEC - Documentos Técnicos en Economía - Colombia

LatAm-Studies - Estudios Latinoamericanos

Redalyc

Universidad Nacional de Colombia

Carrera 30 No. 45-03, Edificio 310, primer piso

Correo electrónico: revueco_bog@unal.edu.co

Página web: www.ceconomia.unal.edu.co

Teléfono: (571)3165000 ext. 12308, AA. 055051, Bogotá D. C., Colombia

Cuadernos de Economía Vol. 44 No. 95 - 2025

El material de esta revista puede ser reproducido citando la fuente. El contenido de los artículos es responsabilidad de sus autores y no compromete de ninguna manera a la Escuela de Economía, ni a la Facultad de Ciencias Económicas, ni a la Universidad Nacional de Colombia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Rector

Leopoldo Alberto Múnera Ruiz

Vicerrectora Sede Bogotá

Andrea Carolina Jiménez Martín

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Decana

Liliana Alejandra Chicaiza Becerra

ESCUELA DE ECONOMÍA

Director

Óscar Arturo Benavides González

VICEDECANATURA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

Hernando Bayona Rodríguez

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO

- CID

Carlos Osorio Ramírez

DOCTORADO Y MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y PROGRAMA CURRICULAR DE ECONOMÍA

Coordinador

Mario García Molina

CUADERNOS DE ECONOMÍA

EDITOR

Gonzalo Cóbita

Universidad Nacional de Colombia

CONSEJO EDITORIAL

Matías Vernengo

Bucknell University

Liliana Chicaiza

Universidad Nacional de Colombia

Paula Herrera Idárraga

Pontificia Universidad Javeriana

Juan Miguel Gallego

Universidad del Rosario

Mario García Molina

Universidad Nacional de Colombia

Iván Hernández

Universidad de Ibagué

Íván Montoya

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Juan Carlos Moreno Brid

Universidad Nacional Autónoma de México

Manuel Muñoz Conde

Universidad Nacional de Colombia

Noemí Levy

Universidad Nacional Autónoma de México

Esteban Pérez Caldentey

Universidad de Pittsburgh

María Juanita Villaveces

Universidad Nacional de Colombia

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia.

Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:

- **Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciatario. Si utiliza parte o la totalidad de esta investigación tiene que especificar la fuente.
- **No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Los derechos derivados de usos legítimos u otras limitaciones reconocidas por la ley no se ven afectados por lo anterior.



El contenido de los artículos y reseñas publicadas es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista u opinión de la Escuela de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas o de la Universidad Nacional de Colombia.

The content of all published articles and reviews does not reflect the official opinion of the Faculty of Economic Sciences at the School of Economics, or those of the Universidad Nacional de Colombia. Responsibility for the information and views expressed in the articles and reviews lies entirely with the author(s).

ARTÍCULO

ANÁLISIS DEL COMOVIMIENTO ENTRE LOS BONOS VERDES CERTIFICADOS, LOS BONOS VERDES AUTOETIQUETADOS Y LOS BONOS CONVENCIONALES (2018-2023)

Oscar Darío Quiroz Mendoza
Nini Johana Marín Rodríguez
Fabián Hernando Ramírez Atehortúa

Quiroz Mendoza, O. D., Marín Rodríguez, N. J., & Ramírez Atehortúa, F. H. (2025). Análisis del comovimiento entre los bonos verdes certificados, los bonos verdes autoetiquetados y los bonos convencionales (2018-2023). *Cuadernos de Economía*, 44(95), 857-892.

Un análisis de índices de bonos verdes certificados, bonos verdes autoetiquetados y bonos convencionales del tesoro público norteamericano de 2018 a 2023 con 1250 observaciones diarias. Se utilizaron DCC-GARCH (por sus siglas en inglés),

O. D. Quiroz Mendoza

Universidad de Medellín, Medellín (Colombia). Correo electrónico: oscarq9007@gmail.com

N. J. Marín Rodríguez

Universidad de Medellín, Medellín (Colombia). Correo electrónico: njmarin@udemedellin.edu.co

F. H. Ramírez Atehortúa

Universidad de Medellín, Medellín (Colombia). Correo electrónico: framirez@udemedellin.edu.co

Sugerencia de citación: Quiroz Mendoza, O. D., Marín Rodríguez, N. J., & Ramírez Atehortúa, F. H. (2025). Análisis del comovimiento entre los bonos verdes certificados, los bonos verdes autoetiquetados y los bonos convencionales (2018-2023). *Cuadernos de Economía*, 44(95), 857-892. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v44n95.111425>

Este artículo fue recibido el 4 de octubre de 2023, ajustado el 7 de agosto de 2024 y su publicación aprobada el 16 de agosto de 2024.

espectros de potencia y coherencia *wavelet* para estudiar su relación dinámica. Los resultados revelan correlación positiva entre bonos convencionales y verdes en estos años, aunque hubo períodos de bajo comovimiento debido al covid-19 y la situación política norteamericana. Se observó influencia significativa de bonos convencionales sobre bonos verdes certificados, especialmente en 2020 y 2022. Además, se encontró causalidad positiva de bonos verdes certificados a los autoetiquetados en todas las frecuencias y plazos.

Palabras clave: bonos verdes; comovimientos; volatilidad; mercados financieros; finanzas sostenibles.

JEL: G11, G12, G31.

Quiroz Mendoza, O. D., Marín Rodríguez, N. J., & Ramírez Atehortúa, F. H. (2025). Analysis of the comovement between certified green bonds, self-labelled green bonds and conventional bonds (2018-2023). Cuadernos de Economía, 44(95), 857-892.

An analysis of certified green bond indices, self-labeled green bonds, and conventional US Treasury bonds from 2018 to 2023, comprising 1250 daily observations. DCC-GARCH, *wavelet* power spectra, and *wavelet* coherence methodologies were employed to scrutinize their dynamic relationship. Results reveal a positive correlation between conventional and green bonds during these years, although there were periods of low co-movement due to the covid-19 pandemic and the US political situation. A significant influence of conventional bonds on certified green bonds was observed, particularly in 2020 and 2022. Furthermore, a positive causality from certified green bonds to self-labeled green bonds was found across all frequencies and time frames.

Keywords: Green bonds; co-movements; volatility; financial markets; sustainable finance.

JEL: G11, G12, G31.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está generando serios impactos en el medio ambiente a nivel mundial, evidenciados por aumento de temperaturas, derretimiento de casquetes polares, acidificación de los océanos, alteraciones de ecosistemas y pérdida de biodiversidad, además de afectar aspectos sociales, como la disponibilidad de agua, la seguridad alimentaria, la infraestructura y la salud humana. Para hacer frente a estos desafíos, se requieren nuevas alternativas de inversión con criterios de sostenibilidad, en línea con los compromisos de los acuerdos de París, que buscan mitigar el cambio climático.

Los bonos verdes surgen como solución financiera para promover la inversión responsable, especialmente entre inversionistas institucionales como fondos de pensiones, compañías de seguros y fondos mutuos. Estos bonos financian proyectos con bajo impacto ambiental o alta eficiencia en el uso de recursos naturales, contribuyendo a la transición hacia una economía baja en carbono. Desde su inicio en 2007, han movilizado más de 1 billón de dólares a nivel mundial, fomentando la inversión en infraestructura sostenible (Banga, 2019).

Aunque similares a los bonos convencionales en aspectos como riesgo y rendimiento, los bonos verdes solo pueden financiar proyectos verdes. Se enfocan en actividades como transporte limpio, eficiencia energética y energías renovables. Su crecimiento se debe a la creciente conciencia sobre la crisis ambiental y el efecto invernadero.

El estudio examina los bonos verdes como innovación destacada en finanzas sostenibles, analizando el desempeño y la contribución a la movilidad de capital hacia una actividad económica más sostenible. También considera su impacto en la forma en que empresas y Gobiernos adoptan prácticas de gestión sostenible.

A nivel global, diversas iniciativas, como los Principios para la Inversión Responsable de las Naciones Unidas y el Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con el Clima, buscan que el sector financiero contribuya a la sostenibilidad y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El estudio se centra en el desempeño de los bonos verdes en Estados Unidos, dirigido a agentes interesados en los nuevos mercados de inversión de renta fija con un enfoque social y ambiental. Los bonos verdes, como vehículos financieros, propagan productos financieros con un enfoque en los ODS.

El análisis emplea técnicas como la modelación *wavelet* y los modelos de correlación dinámica condicional para examinar las fluctuaciones en la relación entre los bonos verdes y otras variables financieras. Esto amplía la discusión sobre los bonos verdes y ofrece perspectiva innovadora para su análisis.

El esquema del artículo incluye una revisión de literatura sobre características y desempeño de los bonos verdes, análisis de datos y resultados, y conclusiones sobre las implicaciones de estos activos financieros en la promoción de inversiones sostenibles.

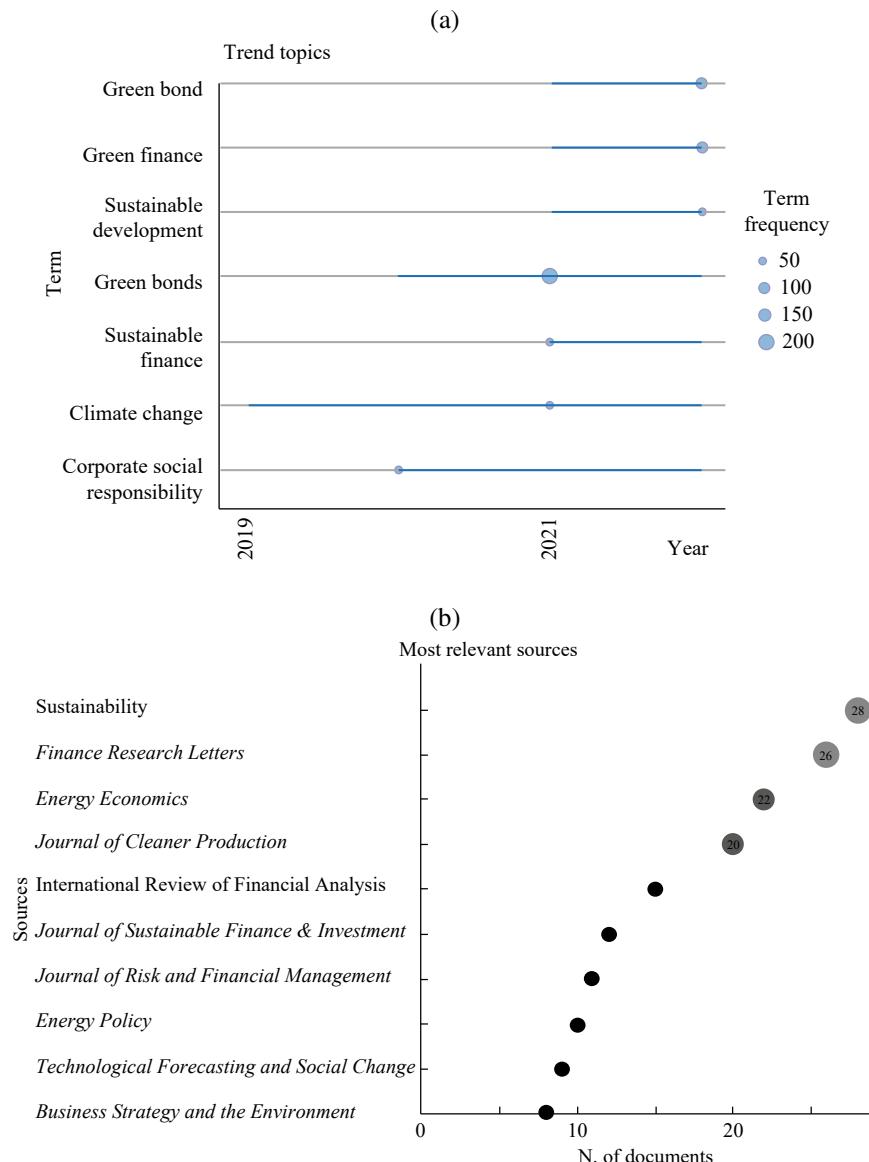
REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para esta investigación, se incluye revisión tipo cienciometría de los principales estudios sobre las relaciones en movimiento de los índices seleccionados. Lo anterior dado que se acudirá a información de las series de tiempo de dos índices de bonos verdes globales certificados y los autoetiquetados en comparación con los bonos ordinarios, acudiendo a fuentes primarias del S&P U.S. Aggregate Bond Index (índice AB), S&P Green Bond Index (índice GB) y S&P Green Bond Select Index (índice GPB). Los estudios revisados se encontraron en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science (WoS), usando los softwares VOSviewer versión 1.6.19 desarrollada por Van Eck y Waltman (2017) y el paquete de R-Bibliometrix de Aria y Cuccurullo (2017). A partir de la ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY (“Green bond*”) OR TITLE-ABS-KEY (“Green investment*”) AND TITLE-ABS-KEY (co-movement*)), estos estudios se agruparon y descargaron en Mendeley Reference Manager para la referenciación y el análisis cienciométrico. En la figura 1, pueden observarse las tendencias en las investigaciones del mismo tema y las fuentes más relevantes que ayudan a establecer las bases de datos bibliográficas de esta investigación.

La figura 1a evidencia las palabras clave más frecuentes, además de los enfoques más importantes encontrados en otros trabajos de similar área de investigación y la frecuencia con la que aparecen, destacándose las palabras *bonos verdes, finanzas verdes y desarrollo sostenible* en este ítem. Además, la figura 1b presenta las principales fuentes en las que se han publicado estudios relacionadas con este tema, encabezando *Journal Sustainability, Finance Research Letters* y *Energy Economics*. Esta propuesta de investigación se fundamenta, por un lado, en el marco teórico de las finanzas e inversiones socialmente responsables (Carvalho Ferreira y Kimura, 2016; El Ghoul *et al.*, 2011; Maltais y Nykvist, 2021; Marín-Rodríguez *et al.*, 2022; Nikolakis *et al.*, 2012; Vandekerckhove y Lewis, 2012) y los marcos institucionales, normativos e inversionistas en el mercado de bonos verdes (Alm y Sievänen, 2013; Akomea-Frimpong *et al.*, 2021; Flammer, 2020). Por otro lado, se cimienta en la teoría de valoración de activos de renta fija (Kolb, 2008; Chapman y Pearson, 2001; Mascareñas, 2017) y los conceptos asociados de *rentabilidad* y *volatilidad* o *riesgo* abordados en el análisis de series de tiempo (Amado y Teräsvirta, 2014; Billio *et al.*, 2006; Engle, 2004; Zivot, 2006).

Una de las brechas en la literatura existente sobre las finanzas socialmente sostenibles es la falta de investigación empírica sobre el impacto de los bonos verdes en el desempeño y la causalidad entre bonos verdes y bonos convencionales. Aunque varios estudios han examinado el desempeño de los bonos verdes en general (El Ghoul *et al.*, 2011; Vandekerckhove y Lewis, 2012), pocos han analizado cómo se comparan los bonos verdes con los bonos convencionales tanto en rendimiento como en causalidad entre índices. Este vacío de conocimiento es significativo porque los inversores necesitan información precisa sobre el desempeño de los bonos verdes en contraste con los bonos convencionales y su posible causalidad.

Figura 1.
Tendencias de investigación (a) y fuentes más relevantes (b)



Fuente: elaboración propia.

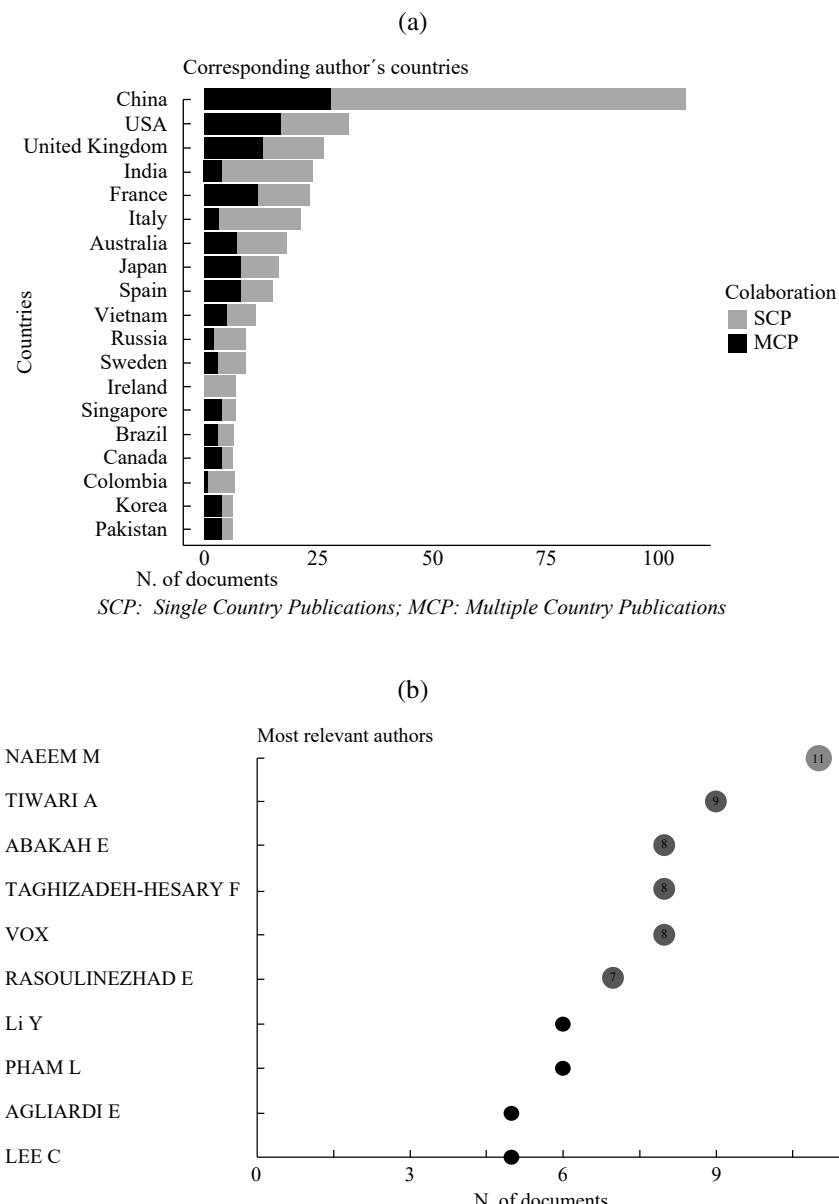
A su vez, como puede observarse en la figura 2, los autores más relevantes y los países de su procedencia, de los cuales se pueden destacar China como referencia investigativa y como primeros exponentes a Naeem *et al.* (2021) y a Pham (2016). A continuación, la figura 2 presenta la relación de países y respectivos autores que tienen mayor participación en trabajos similares.

La figura 2 presenta los países y autores más relevantes en la producción científica sobre el tópico. Como se puede ver en la figura 2a, el país de origen de los autores que predomina en la investigación de este artículo es China, muy por encima del segundo lugar que es Estados Unidos; y la figura 2b muestra los autores más relevantes y las respectivas apariciones en estudios que tratan este, en que se destacan Naeem, Tiwari y Abakah. Por último, pero de gran importancia, se usa el modelo de coherencia y potencia *wavelet*, los cuales ya han sido abordados para la investigación de temas similares (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023; Reboredo *et al.*, 2017). Esta metodología permite encontrar la causalidad entre los índices a revisar en frecuencias de tiempo y la correlación que pueda existir entre estos activos (Reboredo, 2018). Asimismo, se emplea el análisis DCC-GARCH (por sus siglas en inglés) (Gao *et al.*, 2023; Marín-Rodríguez *et al.*, 2022; Sadorsky, 2012), que determina la correlación entre las volatilidades de los activos analizados (Hachenberg y Schiereck, 2018a; Reboredo y Ugolini, 2020).

Los resultados de la revisión bibliográfica indican que las áreas de investigación más prometedoras sobre comovimientos dinámicos entre los precios y los mercados financieros son aquellos relacionados con el análisis *wavelet* (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023), la correlación dinámica (Gao *et al.*, 2023; Marín-Rodríguez *et al.*, 2022) y el análisis de volatilidad (Engle, 2004). El lineamiento de estos estudios previos y los resultados de la revisión bibliográfica son la metodología *wavelet* (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023) para realizar un análisis de frecuencia/tiempo que busca la conexión entre los precios de S&P U.S. Aggregate Bond Index (índice AB), S&P Green Bond Index (índice GB) y S&P Green Bond Select Index (índice GPB) a corto, mediano y largo plazo en relación con los precios del mercado financiero convencional. Estos modelos permiten mejor compresión de la relación entre los precios de los bonos verdes y los bonos convencionales, lo que puede contribuir a una evaluación más precisa del desempeño de estos índices y su posible causalidad. Además, estos modelos pueden ayudar a identificar patrones o tendencias en el mercado de bonos verdes, que puede ser útil para inversiones u otras entidades interesadas en el mercado de valores sostenibles.

Figura 2.

a) Países de autores más relevantes b) Autores más relevantes



Fuente: elaboración propia.

La figura 3 alude a la participación de palabras clave de las referencias utilizadas, en que los autores, haciendo uso de las bases de datos bibliográficas Scopus y WoS, mediante el paquete de R-Bibliometrix, se identificaron las tendencias de las palabras clave más importantes en el temario. Se descubre que existe una dinámica entre los tres bonos a analizar, lo cual es relevante para la investigación, resaltando con mayor participación palabras como *impacto, riesgo, inversión y rendimiento*.

Figura 3.
Palabras clave



Fuente: elaboración propia.

En este estudio, se explora la dinámica de la relación entre los bonos verdes y los bonos convencionales utilizando los modelos de coherencia *wavelet* y DCC-GARCH. La aplicación de estos modelos conjuntamente y sobre este tipo de activos ha sido poco explorada en la literatura y contribuye a abordar una brecha en el conocimiento sobre este tópico. Con los modelos mencionados, pueden analizarse de manera más detallada las fluctuaciones de la relación entre los bonos verdes y los bonos convencionales, así como pueden detectarse patrones que no habían sido explorados previamente. En resumen, el estudio ofrece análisis que amplía el tema en discusión en la literatura respecto de índices de bonos verdes en comparación con índices de bonos convencionales, y mejora la comprensión de los movimientos dinámicos entre los índices ya mencionados.

METODOLOGÍA

Los datos

El conjunto de datos que se analizarán contiene los precios de cierre diarios contemplados desde el 31 de enero de 2018 al 31 de enero de 2023, un total de 1250 observaciones, las cuales son tomadas de la página web de S&P Global y Bloomberg. A continuación, en la tabla 1, se presentan los índices que fueron seleccionados para este análisis.

Tabla 1.
Tabla de variables utilizadas

Variable	Activo	Descripción
S&P U.S. Aggregate Bond Index	AB	<p>El S&P US Aggregate Bond Index está diseñado para medir el rendimiento de deuda de grado de inversión en dólares estadounidenses emitida públicamente. El índice es parte de la familia S&P Aggregate TM Bond Index, incluye bonos del tesoro de Estados Unidos, cuasi gubernamentales, corporativos, bonos municipales imponibles, agencias extranjeras, supranacionales, agencias federales y obligaciones no estadounidenses, bonos garantizados y traspasos de hipotecas residenciales.</p> <ul style="list-style-type: none"> Universo: Los componentes deben estar incluidos en, al menos, uno de los siete índices siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - Índice de bonos del tesoro de Estados Unidos S&P - Índice de bonos cubiertos de Estados Unidos S&P - Índice S&P U.S. Dollar Global Investment Grade Corporate Bond - Index S&P U.S. Dollar Global Investment Grade Corporate Bond - Índice de valores respaldados por hipotecas de Estados Unidos S&P - Índice de bonos de Gobiernos extranjeros y supranacionales de Estados Unidos S&P Medurez: Cada bono debe tener un vencimiento mayor o igual a un mes a partir de la fecha de rebalanceo. No vencen bonos en el índice. Tamaño: El monto nominal mínimo requerido se detalla en la respectiva metodología de cada uno de los siete índices (www.spdji.com). Precios: La fuente de precios para los siete índices se detalla en el documento de metodología respectivo de cada índice (www.spdji.com). Calificación: La calificación crediticia mínima es BBB-/Baa3/BBB-. Si una emisión está calificada por S&P Ratings Services, Moody's y Fitch, la más baja de las tres calificaciones se utiliza como calificación crediticia de la emisión. Si hay dos calificaciones, la más baja debe ser grado de inversión. Si una emisión tiene una calificación, debe ser de grado de inversión.

(Continúa)

Variable	Activo	Descripción
S&P Green Bond Index	GB	<p>El S&P Green Bond Index está diseñado para rastrear el mercado mundial de bonos verdes. Este índice pionero mantiene estándares estrictos para incluir solo aquellos bonos cuyos ingresos se utilizan para financiar proyectos amigables con el medio ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Divulgación del emisor: Para que un bono sea elegible, el emisor debe indicar claramente etiqueta “verde” del bono y el fundamento en él, como el uso previsto de ingresos. Dicha divulgación debe hacerse en fuentes que sean creíbles y relacionadas con la empresa. • Bandera verde: Los bonos deben estar marcados como “verdes” por la Iniciativa de Bonos Climáticos (CBI, por sus siglas en inglés). • País/moneda: Son elegibles bonos verdes emitidos desde cualquier país y cualquier moneda. • Madurez: Cada bono debe tener vencimiento mayor o igual a un mes a partir de la fecha de rebalanceo. Ningún bono vence en el índice. • Tipo de cupón: Se pueden incluir los siguientes tipos de cupones: fijo, cero, incremental (con calendario predeterminado), fijo a flotante (siempre que sean fijos y un mes antes de su fecha de fijación) y flotantes. • Opcionalidad: Podrán incluirse <i>bullet</i>, <i>callable</i>, <i>puttable</i> y <i>callable-perpetuos</i> (siempre que sean, al menos, un mes desde la primera convocatoria). • Asentamiento: Pueden incluirse bonos emitidos, pero no liquidados antes del reequilibrio de fin de mes.
S&P Green Bond Select Index	GPB	<p>El S&P Green Bond Select Index es un subconjunto ponderado por valor de mercado del S&P Green Bond Index, busca medir el rendimiento de los bonos con etiqueta verde emitidos a nivel mundial, sujeto a estrictos criterios de elegibilidad financieros y extra financieros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universo: Todos los componentes del índice deben ser componentes del S&P Green Bond Index. • Esquema de ponderación: Valor de mercado modificado ponderado. • Tapado: Los emisores primero tienen un tope del 10 %. Si la parte de alto rendimiento del índice supera el 20 % después del primer paso, se aplica un tope del 20 %. El exceso de peso se redistribuye proporcionalmente a todos los valores sin tope que no tienen una calificación de alto rendimiento. • Cálculo de la rentabilidad total: El rendimiento total se calcula sumando el rendimiento de los intereses, que refleja el rendimiento debido a los intereses pagados y devengados, así como el rendimiento del precio, que refleja las ganancias o pérdidas debidas a los cambios en el precio al final del día y los reembolsos del principal.

Fuente: elaboración propia con base en [Investing.com](https://www.investing.com).

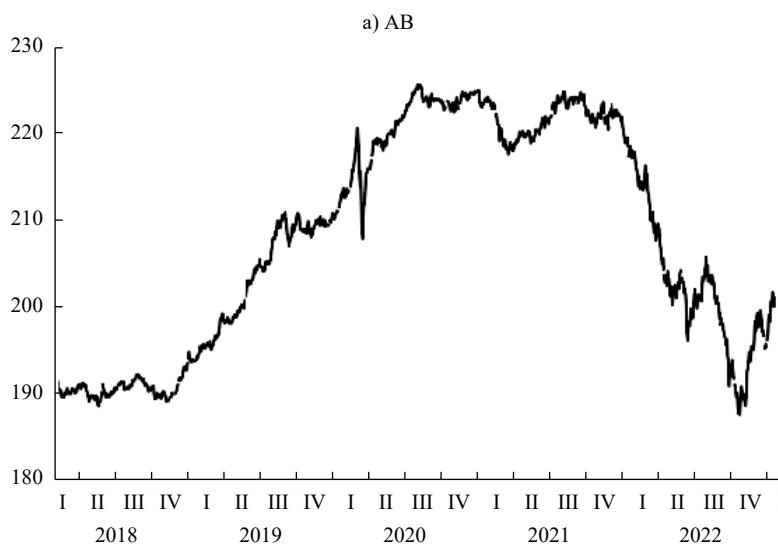
De acuerdo con la tabla 1, se presentan las variables objeto de estudio de investigación y su correspondiente descripción, resaltando variables como S&P U.S. Aggregate Bond Index que permite medir el rendimiento de la deuda de grado de inversión, y así representa la dinámica del índice de bonos convencionales (índice AB); S&P Green Bond Index que rastrea el mercado mundial de bonos verdes certificados (índice GB), y el S&P Green Bond Select Index que mide el rendimiento del índice de bonos verdes autoetiquetados emitidos a nivel mundial (índice GPB).

Descripción de las variables

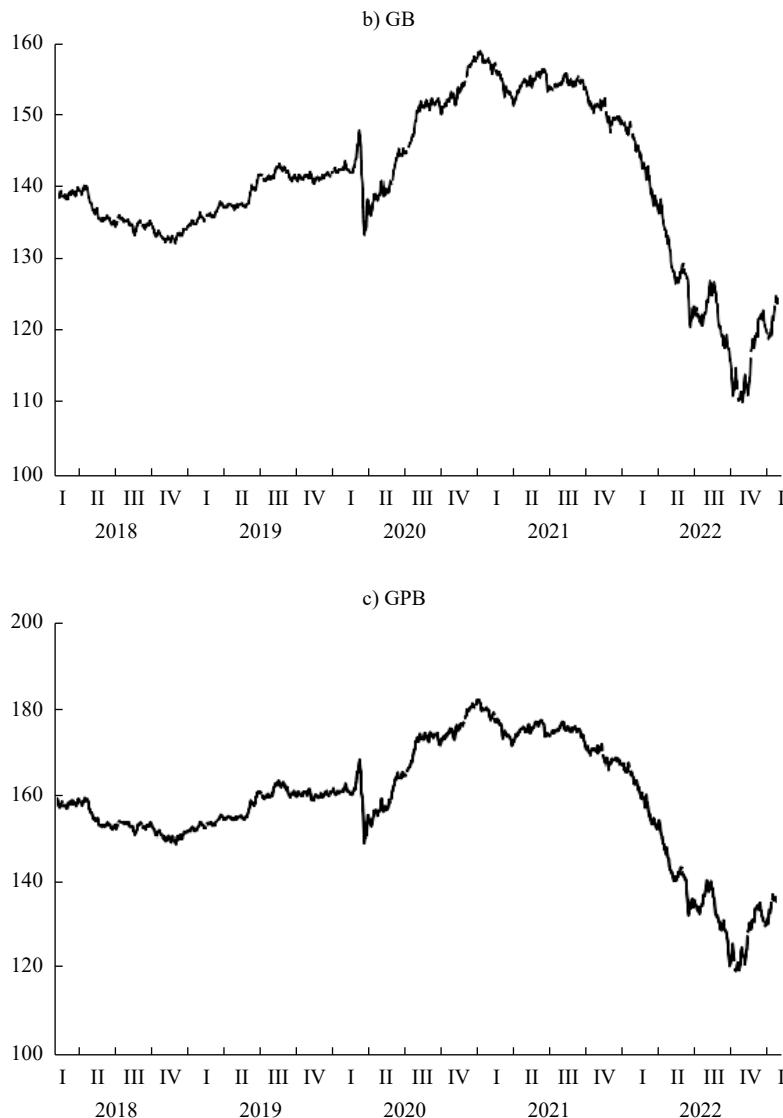
La figura 4 presenta la evolución de los índices AB, GB y GPB. El índice AB tiene la determinación de analizar el rendimiento de los bonos de deuda pública en grado de inversión tasada en dólares estadounidenses. Este índice es familiar del S&P500 (Standard and Poor's 500), el cual incluye las 500 empresas más influyentes o determinantes de la economía de Estados Unidos y que posee una alta variedad de indicadores gubernamentales, subnacionales, corporativos, administradoras de pensiones, hipotecas y bonos garantizados. Se explica el índice AB en la figura 4a que muestra el comportamiento de la serie de tiempo en el periodo observado, en que puede analizarse el comportamiento del índice de bonos convencionales. Estudios basados en Pham (2016) demuestran que los comportamientos tienen una correlación desde los modelos DCC-GARCH, mas este trabajo tiene como fin evaluar las observaciones en los periodos 2018-2023 con los modelos wavelets y DCC-GARCH en conjunto.

Figura 4.

Evolución de los índices AB, GB y GPB



(Continúa)



Fuente: elaboración propia.

La figura 4b presenta el índice GB que incluye los bonos verdes certificados y tiene como fin el impulso y el financiamiento de los proyectos o las empresas de índole verde, o amigables con el medio ambiente; vale la pena resaltar que son proyectos certificados por entidades reguladoras o especializadas en el ámbito mencionado. Creado por S&P Dow Jones, sigue el desempeño de carteras de bonos verdes denominados en múltiples monedas, son bonos de deuda emitidos por empresas y entidades gubernamentales y corporativas en todo el mundo, así como se utiliza

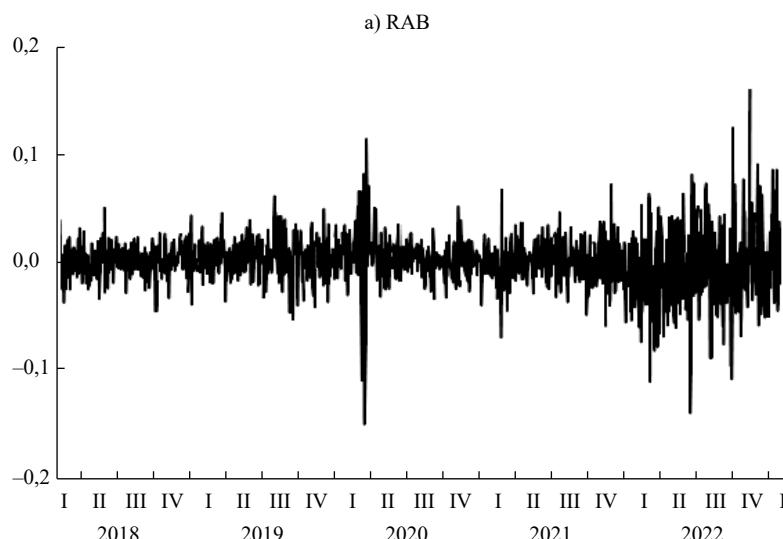
para medir el desempeño de los bonos verdes. Es el indicador más representativo de los bonos verdes en los mercados globales, el cual permite a los inversores realizar seguimientos de los rendimientos de estos tipos de activos asociados con la sostenibilidad. El índice GB sigue el desempeño de carteras de bonos verdes denominados en dólares estadounidenses y se utiliza como medida de la rentabilidad y el rendimiento de los bonos verdes certificados. Como conjunto de indicadores, solo incluye los bonos con calificación crediticia mínima de A-, que corresponde a un índice con una baja probabilidad de incumplimiento en pagos.

El índice GPB, observado en la figura 4c, incluye los bonos verdes autoetiquetados, está diseñado con la filosofía del Green Bond Index, pero siendo autoetiquetados como verdes por los mismos emisores, al no estar certificados por alguna entidad que determine que los proyectos, empresas o demás actividades son de índole verde, están sujetos a criterios financieros y extra financieros, lo que conlleva un mayor riesgo y se traduce en una mayor volatilidad. Es un índice de referencia de bonos verdes creado por S&P Dow Jones, los cuales son instrumentos de deuda emitidos por empresas o entidades estatales, con el fin de financiar proyectos o actividades relacionadas con la sostenibilidad ambiental.

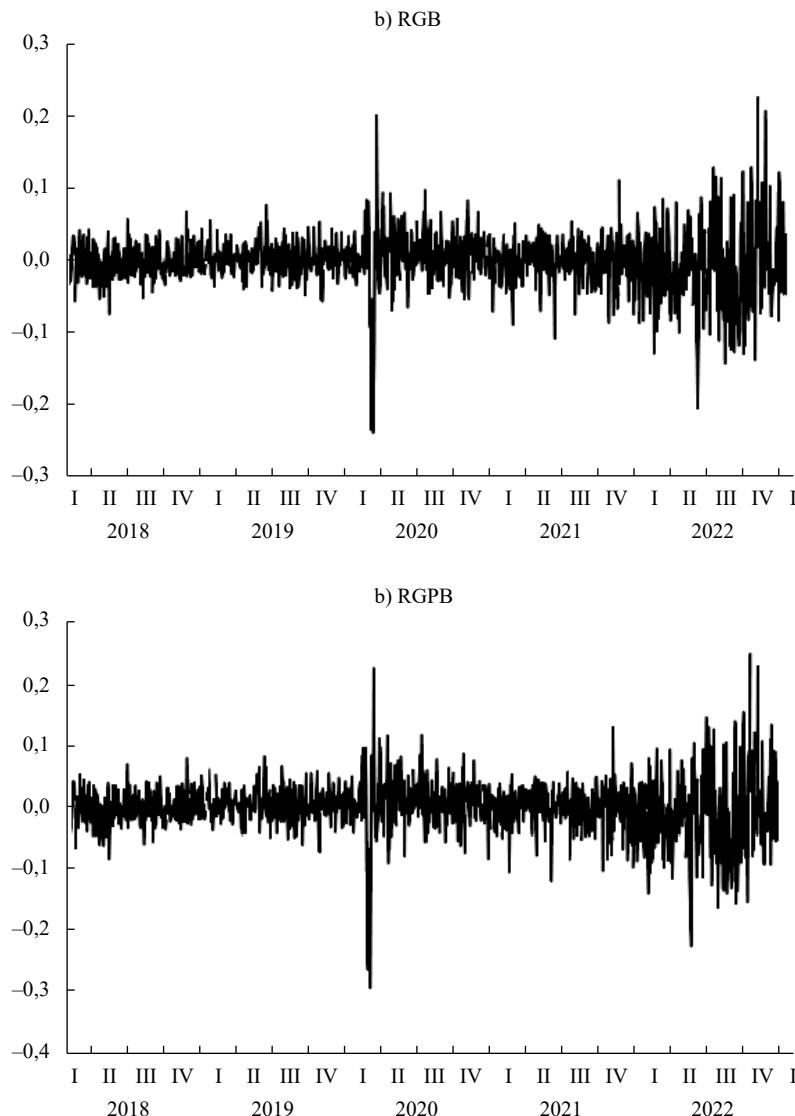
Por su parte, la figura 5 presenta la evolución de los rendimientos de los índices analizados, los cuales presentan volatilidades bajas hasta antes de los inicios de febrero de 2020; pero que, luego de la pandemia y la recesión económica global, pueden observarse fuertes volatilidades en los rendimientos (Barao *et al.*, 2022; Cárdenas & Hernández, 2022).

Figura 5.

Evolución de retornos de los índices AB, GB y GPB



(Continúa)



Fuente: elaboración propia.

Las figuras presentan los rendimientos de tres índices: índice AB (bonos convencionales), índice GB (bonos verdes certificados) e índice GPB (bonos verdes autoetiquetados). Se observan volatilidades significativas en los tres índices, particularmente en periodos cercanos al inicio de la pandemia en marzo de 2020 y de la recesión económica global en enero de 2022.

Tabla 2.
Estadística descriptiva de rendimientos diarios de los índices

Par	Media	Max.	Mín.	DE	Asimetría	Curtosis	Jarque-Bera	ADF	ARCH
RAB	0,00004	0,01612	-0,01515	0,00267	-0,303	7,785	1210,5***	-32,65***	32,25
RGB	-0,00010	0,02272	-0,02410	0,00391	-0,315	8,772	1754,3***	-20,50***	82,74
RGPB	-0,00013	0,02516	-0,02962	0,00455	-0,312	8,322	1494,3***	-20,92***	67,78

*** Indica el rechazo del valor nulo tanto para la prueba de normalidad (a través de Jarque-Bera) como para la prueba de raíz unitaria (a través de ADF). La prueba ADF se realiza con una intercepción. ARCH-LM es la prueba de heterocedasticidad hasta 18 rezagos.

Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg.

Aunque los índices muestran comportamientos similares a lo largo del periodo analizado, hay explicaciones, como la diversificación de la cartera, la estructura del mercado de bonos y los criterios de selección de los bonos verdes, que pueden influir en este fenómeno.

La tabla 2 proporciona estadísticas descriptivas de los rendimientos diarios de los índices, indicando que no presentan raíz unitaria según la prueba ADF (por sus siglas en inglés), pero muestran efectos ARCH (por sus siglas en inglés), lo que sugiere presencia de heterocedasticidad y dependencia temporal. Por tanto, se plantea la necesidad de utilizar la modelación DCC-GARCH para analizar adecuadamente estos datos.

La tabla 2 muestra que los rendimientos promedio de los índices verdes son negativos, con $-0,010\%$ para el índice GB y $-0,013\%$ para el índice GPB, mientras el índice de bonos convencionales tiene un rendimiento promedio positivo del $0,004\%$. Se observa una diferencia notable en los rendimientos promedio entre los bonos convencionales y los bonos verdes, lo que es relevante para el análisis.

Los bonos convencionales muestran una mayor discreción en las volatilidades, ya que sus máximos y mínimos están más cerca de cero en comparación con los bonos verdes. Además, la desviación estándar (DE) del índice AB es más baja ($0,267\%$), lo que sugiere menos riesgo en comparación con los índices verdes.

Todos los índices muestran una curtosis mayor de 3 y una asimetría negativa, lo que indica una distribución no normal de los datos y una cola izquierda más larga en relación con la derecha. El análisis estadístico Jarque-Bera confirma que los rendimientos no siguen una distribución normal y que todos los índices tienen efecto ARCH, lo que justifica la implementación del modelo DCC-GARCH para el análisis posterior (Gao *et al.*, 2023).

Modelo DCC-GARCH

Para determinar el modelo GARCH, se requiere, en primera instancia, estimar en una sola serie de tiempo los residuos estandarizados que son consecuencia de la división entre la varianza condicional y sus residuos, posterior a esto los residuos estandarizados estiman la estructura de relacionamiento dinámico. Todo lo anterior hace que durante el ajuste del modelo los parámetros alfa y beta se basen en la máxima verosimilitud, para obtener la solución de normalidad progresiva y consistente.

Los modelos son generalmente estáticos (los modelos ordinarios) y suelen analizar las fluctuaciones de dos series; pero estos métodos solo pueden describir el grado de correlación entre las poblaciones de muestras en el promedio (media) (Gao *et al.*, 2023) y estas no pueden ser sensibles al grado de que esta correlación entre series de tiempo en diferentes períodos de tiempo, para extraer por completo las características de agregado de las volatilidades de los rendimientos de los índices o activos. Sin embargo, el modelo requiere que se estime bajo un modelo generalizado de heterocedasticidad condicional autorregresiva (GARCH, por sus siglas

en inglés), en que el término de rezagos de la suma de los errores al cuadrado se agrega directamente al factor que influye en la variable a interpretar.

$$r_t = u_t + e_t \quad (1)$$

La ecuación (1) modela la serie de datos r_t , que significa retorno de la acción, como la suma del error de medición e_t y la volatilidad de u_t .

$$e_t \sim N(0, H_t) \quad (2)$$

La ecuación (2) representa el error de medición e_t , que sigue una distribución normal con media cero y una varianza cambiante a lo largo del tiempo presentado con H_t .

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (3)$$

La ecuación (3) es la descomposición de Cholesky, aplicado a H_t , que se emplea para garantizar que la matriz H_t sea de carácter absoluto o definida positiva.

$$R_t = (Q_t^*) Q_t (Q_t^*)^{-1} \quad (4)$$

La ecuación (4) muestra la matriz de covarianza de los errores de la volatilidad representada en R_t , que, a su vez, se descompone utilizando la matriz Q_t .

$$Q_t = (1 - \alpha - \beta) \bar{Q} + \alpha (\varepsilon_{i,t-1} \varepsilon_{i,t-1}' + \beta Q_{t-1}) \quad (5)$$

En la representación en (5), es la ecuación que determina la matriz de Q_t , utilizada para modelar las variaciones de la volatilidad del error de u_t . A su vez, la matriz Q_t es una conjugación lineal de la matriz de la covarianza media de Q_0 , la matriz de covarianza de los errores de las volatilidades en el periodo anterior expresados R_{t-1} y, por último, el cuadrado del error de medición en el periodo anterior $\varepsilon_{i,t-1} \varepsilon_{i,t-1}'$.

En conclusión, estas ecuaciones se emplean para estimar las volatilidades de una serie de tiempo de datos financieros en el tiempo observado. Aunque el modelo GARCH tiene una importante participación para determinar la volatilidad, tiene como limitación solo describir las características de un activo, no de varios, y, por ende, no es posible analizar la correlación entre volatilidades de dos o más activos. Para compensar esta deficiencia, Engle (2002) propuso un modelo DCC-GARCH, conocido como el modelo GARCH multivariado condicionado dinámico, con el fin de analizar la relación entre las volatilidades del mercado. Esto ofrece una buena descripción de la dinámica correlación entre varias series de tiempo, por lo que es similar a que la volatilidad entre las series no es que sea constante, sino que

es un factor que cambia en el transcurso del tiempo y una valiosa herramienta para estudiar estos activos o índices.

Modelo *wavelet*

El modelo *wavelet* permite analizar las frecuencias de series de tiempo, en el cual es requerimiento utilizar la técnica y la relevancia del tiempo en las que pasan los datos simultáneamente. Esta metodología está basada en el análisis de Fourier (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023), que está centrado en el estudio de señales en la participación de los dominios de las frecuencias de tiempo, así es como se muestran como ondas que enseñan regularidades y desvanecimientos que facilitan el análisis del comportamiento de los activos o índices estudiados, ya que puede indicar, con mayor acierto, la existencia de fenómenos de tiempo estacionarios y no estacionarios, o aquellas anomalías, registros atípicos o variaciones en el tiempo y en los datos. Lo anterior también puede facilitar la descomposición de frecuencias, lo que permite validar a diferentes escalas los cambios estructurales, la variación en la estacionariedad, los clústeres de volatilidad, entre otros.

Espectro de potencia *wavelet*

El análisis de espectro de potencia *wavelet* tomará en cuenta los rendimientos y las volatilidades de los índices S&P U.S. Aggregate Bond Index (índice AB), S&P Green Bond Select Index (índice GPB) y S&P Green Bond Index (índice GB), el cual hará el análisis entre índices de bonos (Marín-Rodríguez *et al.*, 2022). Debe resaltarse que lo interesante de este ejercicio es que se podrá validar el comportamiento que puede tener un índice con otro, determinando las volatilidades observadas en los datos, es decir, que, usando las series de tiempo de los índices de manera continua, se logra expresar el espectro de potencia *wavelet*. Es posible hacerlo con el uso de transformadas *wavelet* continuas o discretas; pero, para el caso práctico de este estudio, el mecanismo a utilizar será la transformada *wavelet* continua, ya que posee ventaja sobre el otro método y puede proporcionar independencia en los *wavelets* según los datos que se posean en la longitud en el tiempo y validar los patrones que estos puedan tener en el tiempo, que se expresa, así:

$$W_x(\tau, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{\tau, s}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (6)$$

Siendo una serie de tiempo discreto $x(t) = 0, 1, \dots, n$.

En relevancia con lo anterior, la transformada *wavelet* continua mantiene la energía de una serie de tiempo que analizará los espectros de su potencia, por tanto, la varianza es otorgada por consiguiente así:

$$\|x\|^2 = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \left| W_x(\tau, s) \right|^2 d\tau \right] \frac{ds}{s^2} \quad (7)$$

Por último, para captar la información del comportamiento de las series de tiempo de los índices de bonos verdes y el índice de bonos convencionales, se utilizará el espectro de potencia *wavelet*, el cual es representado matemáticamente, así: $W_{PS_x}(\tau, s) = |W_x(\tau, s)|^2$, definiendo la potencia de onda cruzada $W_{xy}(\tau, s)$ con las transformadas continuadas como:

$$W_{xy}(\tau, s) = W_x(\tau, s) \cdot W_y^*(\tau, s) \quad (8)$$

La modelación del espectro de potencia *wavelet* es una técnica matemática considerada técnica analítica, que puede ser utilizada en finanzas para descomponer una serie de tiempo en distintas escalas, tiempos y frecuencias, con el fin de identificar patrones y tendencias en los datos de los mercados financieros. Esta técnica es valiosa para comparar los índices verdes y los convencionales, lo cual permite a los inversores evaluar tanto el rendimiento como el impacto ambiental de sus inversiones o matrices de sostenibilidad. La modelación de espectro de potencia *wavelet* ayuda a analizar la volatilidad correlacionada entre los diferentes índices analizados, así como la identificación de tendencias, ciclos o congruencias en el tiempo observado. Lo anterior puede ser de gran utilidad para predecir el comportamiento futuro de los mercados financieros, ya sostenible, ya no sostenible. En resumen, la modelación de espectro *wavelet* es una herramienta analítica valiosa para el análisis de datos financieros con énfasis en su correlación; para el caso de esta investigación, la correlación de los rendimientos en una serie de tiempo continua de bonos convencionales y bonos verdes.

Coherencia wavelet

La técnica de análisis de coherencia *wavelet* es un modelo matemático que ayuda a estudiar series de tiempo para identificar patrones, relaciones y causalidades entre dos conjuntos de datos en diferentes escalas temporales y frecuencias. En el ámbito financiero, es útil para visualizar y comparar bonos verdes y convencionales, permitiendo evaluar proyectos y bonos en los mercados financieros. Este análisis permite examinar la relación entre estos índices en distintos ciclos económicos, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones de inversión y la gestión de carteras, considerando la sostenibilidad como un factor clave. En resumen, la coherencia *wavelet* es una herramienta esencial para inversores financieros que desean comparar índices, activos y rendimientos, así como evaluar la causalidad entre los datos observados (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023)

$$R_{xy}^2(\tau, s) = \frac{|S(s^{-1}W_{xy}(\tau, s))|^2}{S(s^{-1}|W_x(\tau, s)|^2)S(s^{-1}|W_y(\tau, s)|^2)} \quad (9)$$

La capacidad de las ondas cruzadas expuestas en las zonas donde las dos series de tiempo comparten altos niveles de potencia en el espectro tiempo-frecuencia. La coherencia al cuadrado *wavelet* entre ambas series de tiempo se define como:

Donde $R_{xy}^2(\tau, s)$ presenta la coherencia al cuadrado de las ondas entre $x(t)$ e $y(t)$, o, como también se puede indicar, que es una correlación que comparte longitud en los tiempos de representación de los datos entre las variables para cada momento y cada frecuencia. Los rangos de coherencia *wavelet* están situados entre 0 y 1, que representan con movimiento o sin él, respectivamente; también puede ser evidenciada la correlación positiva o negativa, o también llamado adelanto/retraso entre las respectivas series de tiempo, que es representada, así:

$$\phi_{xy}(\tau, s) = \tan^{-1} \frac{\Im\{W_{xy}(\tau, s)\}}{\Re\{W_{xy}(\tau, s)\}}, \phi_{x,y} \in [-\pi, \pi] \quad (10)$$

Donde los símbolos \Im y \Re desempeñan el papel de imaginario y real, respectivamente. La escala de sincronización en grados se revela como $x(t)$ e $y(t)$ para una serie de tiempo determinada, mientras la coherencia *wavelet* $\phi_{xy}(\tau, s)$ se simboliza en las figuras como flechas con dirección hacia la derecha y la izquierda, hacia arriba y hacia abajo, que están dentro de áreas significativas. Si la flecha apunta hacia la derecha (o izquierda), se sugiere que las series de tiempo $x(t)$ e $y(t)$ están en fase (o fuera de fase), por lo que significa que están asociadas positiva (o negativamente) con un desfase de tiempo nulo o insignificante (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023)

Figura 6.

Esquema de comportamiento de flechas de referencia

VARIABLES	X ₁	Primera variable	CONCEPTO	DIRECCIÓN	ILUSTRACIÓN	SIGNIFICADO
	X ₂	Segunda variable		Arriba	↑	
RELACIÓN	←	Relación negativa	Flecha apuntando	Arriba-derecha	↗	Variable X ₂ tiene un efecto causal a la variable X ₁
	→	Relación positiva		Abajo	↓	
				Abajo-derecha	↘	Variable X ₂ tiene un efecto causal a la variable X ₂
				Arriba-izquierda	↖	

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, si la flecha se dirige hacia arriba, se puede afirmar que la primera serie temporal se adelanta a la segunda en $\pi/2$, cuyo periodo real se basa en la frecuencia/escala específica de la figura de coherencia *wavelet*, y viceversa, si las flechas apuntan hacia abajo. Además, si las flechas se dirigen hacia arriba, derecha

o izquierda, significa que la segunda variable es la causa o tiene causalidad con la primera variable; mientras, si las flechas apuntan hacia abajo, izquierda o derecha, se indica que la primera variable causa o tiene causalidad con la segunda variable.

La técnica de análisis de coherencia *wavelet* tiene limitaciones que deben ser consideradas al comparar los índices bonos verdes y bonos convencionales en los mercados financieros. Existen diversas variables que deben reconocerse a la hora de analizar el comportamiento de los rendimientos de un activo o de un índice, las cuales pueden ser variables dinámicas como las tasas de interés o variables económicas cíclicas como el producto interno bruto (PIB) y la calificación de los bonos. Además, la interpretación desempeña un papel fundamental, ya que requiere experiencia en análisis de datos por parte del observador o investigador. A pesar de estas limitaciones, la técnica de coherencia *wavelet* es una herramienta útil que puede ser empleada en conjunto con otras técnicas de análisis que soporte y fundamente la toma de decisión de las inversiones con ámbito o responsabilidad sostenible.

RESULTADOS DE LOS MODELOS

Resultados DCC-GARCH

A continuación, la tabla 3 presenta el análisis descriptivo de los coeficientes de correlación dinámica (DCC-GARCH) para las parejas de bonos seleccionados. Se encuentra que la media del coeficiente DCC entre la rentabilidad del precio del índice del bono convencional y la rentabilidad de bonos verdes certificados y bonos verdes autoetiquetados $Q(RAB, RGB)$ y $Q(RAB, RGPB)$, respectivamente, es de correlación positiva o directamente relacionados (45,4 % y 47,6 %). Además, muestra un coeficiente promedio DCC-GARCH muy alto (99,3 %) entre bonos verdes certificados y bonos verdes autoetiquetados $Q(RGB, RGPB)$. Entre los resultados, es necesario mencionar que el coeficiente de correlación dinámica $Q(RAB, RGB)$ presenta raíz unitaria, lo cual indica que tiene una estructura de dependencia temporal, indicando la existencia de una larga memoria en la relación entre ambos activos (RAB y RGB). Por su parte, los coeficientes de correlación dinámica $Q(RAB, RGPB)$ y $Q(RGB, RGPB)$ resultan ser estacionarios según la prueba de raíz unitaria ADF. Además, todos los coeficientes ρ DCC presentan autocorrelación (ver resultados de la prueba ARCH), es decir, una estructura de dependencia temporal con sus retrasos. Finalmente, todos los coeficientes ρ son estacionarios, lo cual implica que las correlaciones encontradas tienen una media y varianza constantes.

Tabla 3.

Estadística descriptiva de los coeficientes (ρ) obtenidos para los diferentes modelos DCC-GARCH estimados

Par	Media	Max.	Mín.	DE	DE	Curtosis	Jarque-Bera	ADF	ARCH
$Q(RAB, RGB)$	0,454	0,682	0,135	0,129	-0,143	2,122	44,4***	-2,02***	18777***

(Continúa)

Par	Media	Max.	Mín.	DE	DE	Curtosis	Jarque-Bera	ADF	ARCH
Q(RAB, RGPB)	0,476	0,735	0,046	0,133	-0,539	2,928	60,8***	-5,26***	10893***
Q(RGB, RGPB)	0,993	0,998	0,975	0,003	-1,814	7,822	1895,3***	-3,98***	13681***

*** Indica el rechazo del valor nulo tanto para la prueba de normalidad (a través de Jarque-Bera) como para la prueba de raíz unitaria (a través de ADF). La prueba ADF se rea-liza con una intercepción. ARCH-LM es la prueba de heterocedasticidad hasta 18 rezagos. Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg.

En la tabla 4 se representan los resultados de las estimaciones de los parámetros DCC-GARCH, los cuales son diferentes de 0 en alta proporción. Los parámetros α y β otorgados en los modelos DCC-GARCH son responsables de indicar los efectos de las alteraciones retrasadas estandarizadas y las correlaciones condicionales retrasadas. Si α aumenta, los residuos cuadrados rezagados tienen un papel más protagonico en la estimación de la correlación. Por el contrario, si β aumenta, la correlación condicional se vuelve más persistente. En la mayoría de los casos, el valor de β indica una fuerte correlación dinámica condicional. Sin embargo, en la relación entre ambos índices verdes (RGB, RGPB), β tiene un valor dinámico persistente de 0,9504. Esto indica que las correlaciones estimadas se vuelven más dinámicas, lo que implica que el proceso de la volatilidad de los pares analizados es estable presentando altos grados de persistencia con respecto de las correlaciones pasadas.

Tabla 4.

Parámetros estimados del modelo DCC-GARCH

Pair	Alpha (α)	Beta (β)	(α) + (β)
Q (RAB, RGB)	0,0189***	0,9721***	0,9911
Q (RAB, RGPB)	0,0488***	0,9093***	0,9581
Q (RGB, RGPB)	0,0413***	0,9504***	0,9918

Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg.

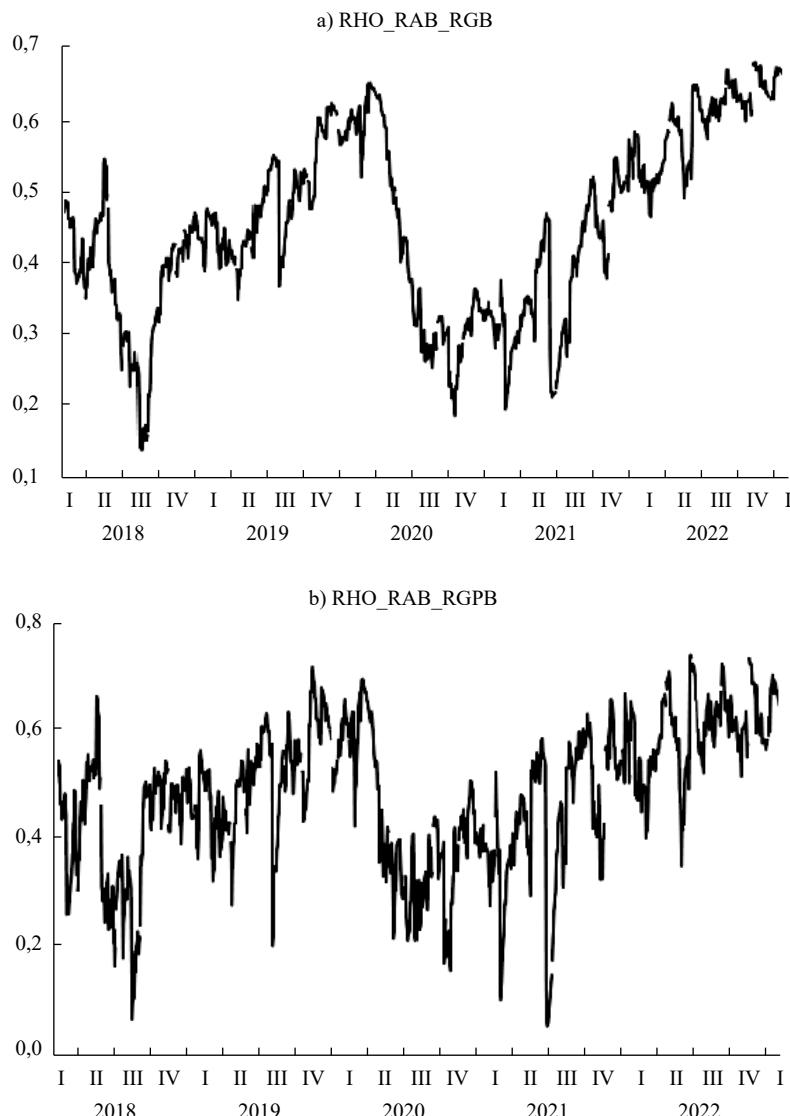
Notas: *, ** y *** indican un nivel de significancia de 10,5 y el 1 % nivel, respectivamente.

El parámetro β captura el alto impacto de las correlaciones pasadas en todos los casos, mientras el impacto de los nuevos datos a correlacionar, medido por α , es bajo en este caso. Por lo anterior, se puede indicar que el proceso de correlación tiene una menor varianza. La tabla 4 muestra que las correlaciones por pares lograron alcanzar dos picos: el primero ocurrido por los impactos generados por la pandemia a inicios de 2020 y el segundo alcanzado durante el último cuatrimestre de 2022 por la crisis económica. Estos picos coinciden con estos eventos mencionados que afectaron una alta cantidad de variables económicas a escala mundial.

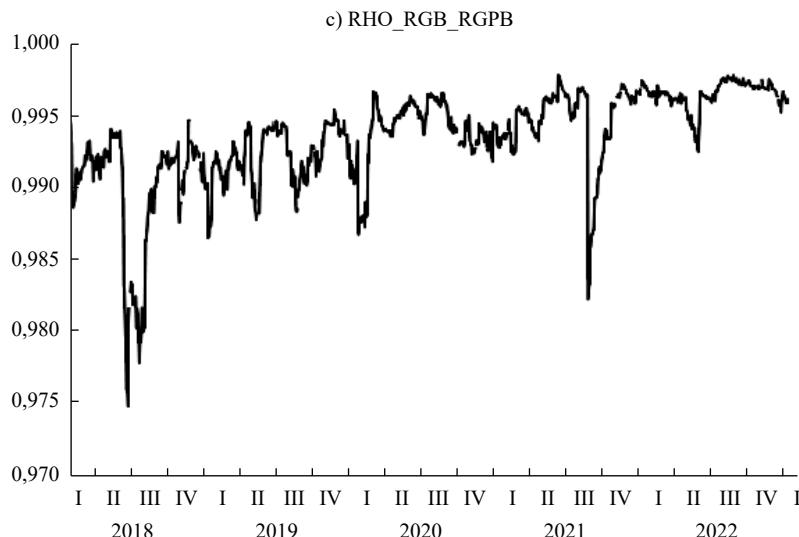
A continuación, los rendimientos de asociación lineal entre los índices estudiados son presentados en la figura 7, indicando las volatilidades asociadas entre pares de correlaciones y el tiempo.

Figura 7.

Evolución de los coeficientes *rho* obtenidos mediante el modelo DCC-GARCH entre pares de índices



(Continúa)



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 7a y 7b muestran una correlación muy baja entre los índices verdes y los convencionales durante varios períodos, con correlaciones cercanas al 13 % y el 5 %, respectivamente, durante el tercer trimestre de 2018, todo 2020 e inicios de 2021. Estas diferencias económicas significativas entre bonos verdes y convencionales se deben a varios factores.

En 2018, la incertidumbre política en Estados Unidos y su impacto global afectaron los bonos convencionales, mientras los bonos verdes estaban ganando popularidad. En 2021, la pandemia de covid-19 y la crisis económica resultante también influyeron en las diferencias entre los bonos. Aunque los bonos convencionales se consideran tradicionalmente más seguros en tiempos de incertidumbre, los bonos verdes también demostraron resistencia a los efectos de la pandemia, lo que se refleja en una correlación más alta entre los rendimientos de ambos tipos de bonos al finalizar 2022 e inicios de 2023.

Después de las crisis financieras, los bonos verdes tienden a fortalecer su correlación con los convencionales, llegando a niveles entre el 60 % y el 70 %, con una tendencia alcista. Además, los bonos del índice GPB muestran mayor volatilidad en comparación con los del índice GB y el índice AB, lo cual tiene sentido dada su naturaleza sin respaldo externo.

Las correlaciones entre las volatilidades de bonos verdes muestran similitudes cercanas al 100 %, con rangos entre el 97 % y el 99 %, lo que indica un comportamiento similar entre los índices. Aunque los eventos mencionados afectan la similitud entre bonos verdes, no generan diferencias significativas en los rendimientos entre los índices.

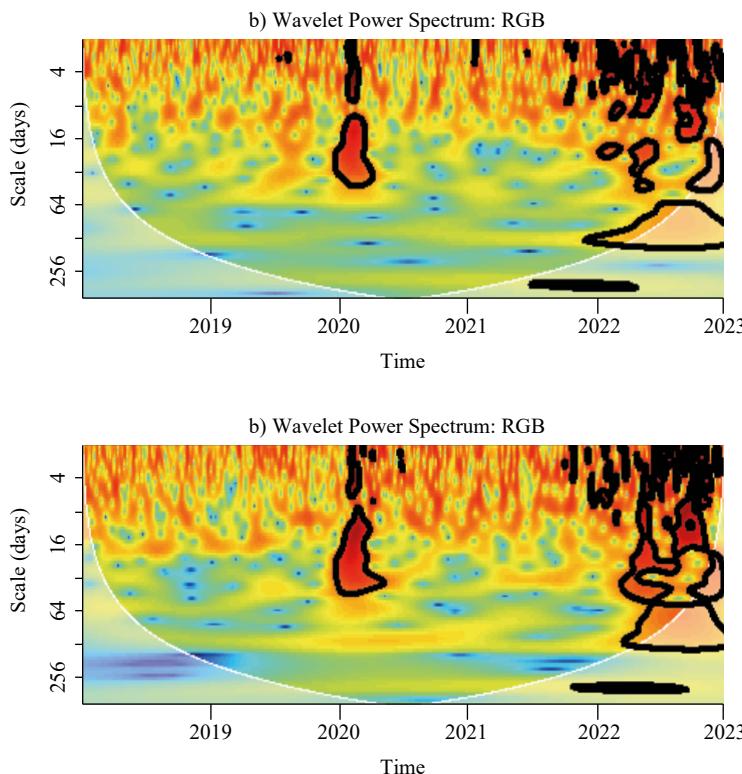
Resultados del espectro de potencia *wavelet*

La figura 8 presenta rendimientos de bonos convencionales del tesoro de Estados Unidos (RAB, por sus siglas en inglés), los rendimientos de bonos verdes certificados (RGB, por sus siglas en inglés) y los rendimientos de bonos verdes autoetiquetados (RGPB, por sus siglas en inglés). Según esta figura, parece indicar que cada uno de los anteriores posee volatilidades en períodos cortos de frecuencia, pero también cabe resaltar las volatilidades en frecuencias medias en 2020 a causa de la pandemia por covid-19 (Naeem *et al.*, 2021) y de volatilidades en frecuencias bajas, medias y altas a finales de 2022 (Barao *et al.*, 2022; Cárdenas y Hernández, 2022) que vive el mundo, y los índices financieros no son ajenos a esta realidad, a la par con los conflictos que vive Europa con la guerra Ucrania-Rusia (Marín-Rodríguez *et al.*, 2023; Otero Iglesias y Steinberg, 2022).

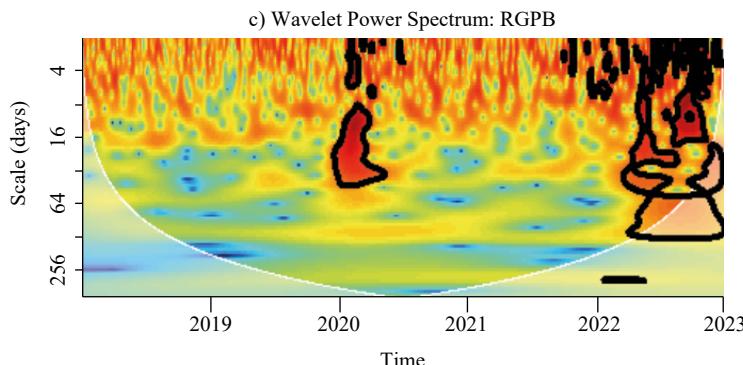
En la figura 8 se exponen los espectros de potencia *wavelet* de los índices en estudio (AB, GB y GPB) para analizar el comportamiento de sus rendimientos, volatilidad y frecuencia en el transcurso del tiempo (desde 2018 a 2023).

Figura 8.

Espectros de potencia *wavelet* de los índices analizados



(Continúa)



Fuente: elaboración propia.

El análisis destaca la similitud en el comportamiento de los bonos verdes (índices RGB y RGPB) con su contraparte convencional (índice RAB), como se evidencia en las figuras 8b y 8c mediante el modelo *wavelet*. La investigación muestra que los eventos generados por la pandemia en 2020 afectaron significativamente los rendimientos de estos bonos, reflejados en los espectros de frecuencia del modelo, lo que indica una mayor volatilidad.

Se ha observado una correlación positiva perfecta entre los índices verdes y el índice convencional, lo que sugiere una alta correlación y movimientos conjuntos en el mercado. Esto resalta la viabilidad de los bonos verdes como alternativa para inversores que buscan sostenibilidad y diversificación en sus carteras.

La similitud en el comportamiento de los bonos S&P Green Bond Select Index (índice GPB), S&P Green Bond Index (índice GB) y S&P U.S. Aggregate Bond Index (índice AB) puede atribuirse a la estructura de los mercados financieros de los bonos y su interconexión con factores globales, como la pandemia o los conflictos internacionales. La diversificación de los portafolios de inversión y los compromisos de los países emisores con los acuerdos de París y los ODS también influyen en el comportamiento de los índices.

En resumen, se subraya la importancia de considerar la naturaleza y la contribución de todos los tipos de bonos e índices para avanzar en los compromisos globales de sostenibilidad.

Resultado de coherencia *wavelet*

La coherencia *wavelet* es una herramienta utilizada para analizar la causalidad entre diferentes tipos de bonos, como los convencionales y los verdes, en este caso, representados por los índices RAB, RGB y RGPB. El análisis de la coherencia *wavelet* permite observar cómo se relacionan estas variables en diferentes escalas de tiempo y frecuencias.

Las figuras muestran las estimaciones de coherencia entre los rendimientos de los bonos, representados por colores que indican la fuerza de la relación entre ellos. Los colores fríos indican una coherencia baja o cercana a cero, mientras los colores cálidos una coherencia alta, cercana a uno.

Las líneas negras en las figuras delimitan áreas de influencia con una coherencia significativa (nivel 5 %), mientras las fechas dentro de estas áreas indican la relación causal entre los bonos en diferentes escalas de tiempo.

En resumen, las figuras presentan la coherencia *wavelet* y la causalidad entre los índices de bonos verdes certificados y autoetiquetados y bonos convencionales del tesoro soberano de Estados Unidos, mostrando cómo se relacionan en diferentes períodos de observación y frecuencias. Cada figura está configurada con un par de índices, con el eje horizontal representando el periodo de observación en días y el eje vertical mostrando el dominio de la frecuencia.

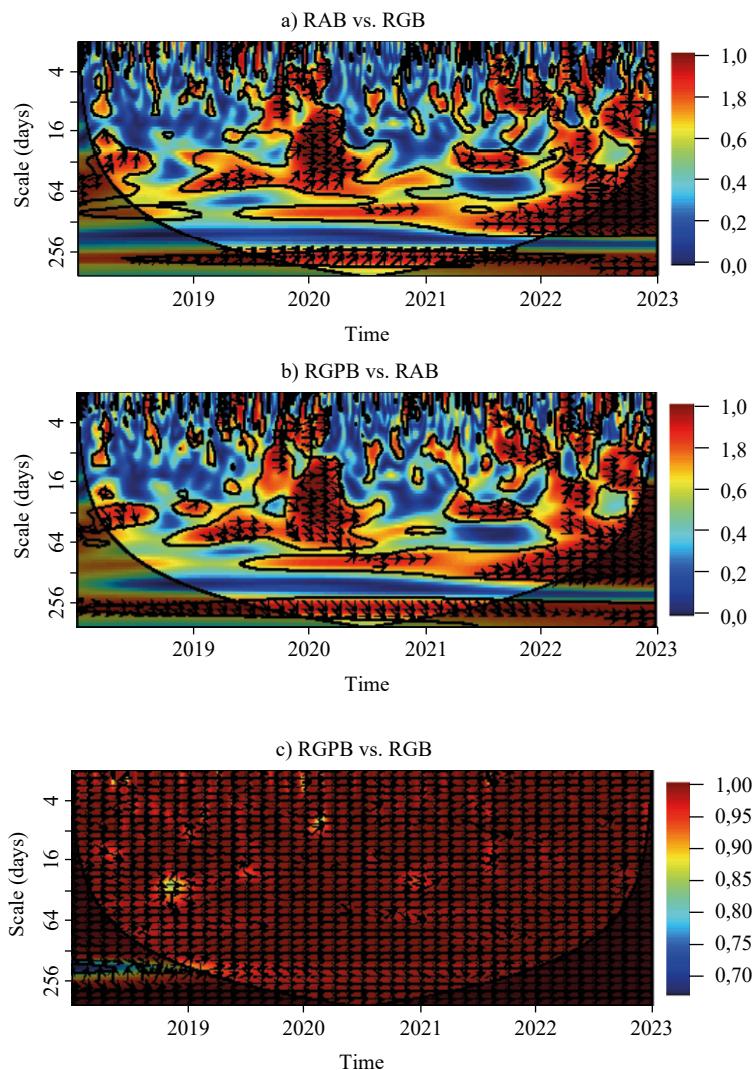
La figura 9b muestra que los bonos convencionales tienen una influencia significativa sobre bonos verdes autoetiquetados, especialmente a mediano y largo plazo, evidenciando altas volatilidades durante eventos, como la pandemia y la crisis económica.

En la figura 9c, se observa una correlación casi perfecta entre bonos verdes certificados y autoetiquetados, con pocas excepciones en 2018, lo que sugiere que los bonos certificados tienen un impacto fundamental en los autoetiquetados.

Por otro lado, la figura 9a revela una relación significativa entre bonos convencionales y los verdes certificados, con una causalidad positiva y directamente proporcional, especialmente durante la crisis económica mundial en 2022.

Estas figuras ofrecen información crucial sobre cómo los diferentes tipos de bonos se relacionan entre sí en diferentes frecuencias y cómo afectan las inversiones. Son herramientas importantes para comprender el comportamiento del mercado financiero y tomar decisiones informadas. La tabla 5 resume la relación existente por causalidad significativa entre los índices mencionados.

Para esta investigación, se han determinado grupos de frecuencia de días, así: 1-4, 4-16, 16-64, 64-256 y 256-512 días. Puede considerarse que, cuantos menos días de frecuencia tenga, más alta será la frecuencia; por el contrario, cuanto más días de frecuencia exista, la frecuencia será más baja. Para la comprensión de la tabla anterior, se determinan tres grupos de frecuencias: el primer grupo (corto plazo) está compuesto por las frecuencias que comprenden hasta 16 días, el segundo grupo (medio plazo) hasta 256 días de frecuencia y el último grupo (largo plazo hasta 512 días de frecuencia).

Figura 9.Resultados de coherencia *wavelet* de grupo de índices analizados

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.
Causalidad hallada mediante coherencia *wavelet* entre pares de índices

Causalidad/periodo	2018	2019	2020	2021	2022	2023.01
RAB causa significativa RGB						CP, LP +
RGB causa significativa RAB	MP +	MP, LP +	MP, LP +	MP, LP +	CR, MP, LP +	
RGPB causa significativa RAB					CP, MP +	
RAB causa significativa RGPB	MP, LP +	MP, LP +	CP, MP, LP +	MP, LP +	CP, MP, LP +	
RGPB causa significativa RGB					CP, MP, LP +	
RGB causa significativa RGPB	CP, MP, LP +					

Nota: CP = corto plazo, MP = medio plazo, LP = largo plazo, + (signo más) = relación positiva, - (signo menos) = relación negativa.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Pham (2016), los bonos verdes del S&P han mostrado patrones de volatilidad similares a los bonos convencionales S&P500 desde 2010 a 2015. Estos movimientos afectan de manera paralela los bonos del tesoro estadounidense. A pesar de que los datos provienen de diferentes períodos, varios estudios coinciden en estos resultados, señalando futuros prometedores para el mercado de bonos verdes.

Los resultados indican un comportamiento similar entre los bonos verdes y bonos convencionales, con volatilidad constante. Sin embargo, la pandemia de 2020 provocó cambios significativos en ambos tipos de activos, con impactos casi idénticos. Estos patrones de volatilidad se extienden a diferentes plazos, abarcando tanto el corto como el mediano plazo. En 2022, durante una recesión económica, se observó una correlación positiva perfecta entre los bonos verdes y los convencionales, respaldada por un alto grado de significancia estadística del 5 %.

Las figuras de coherencia *wavelet* en los retornos de bonos del tesoro estadounidense (RAB) y bonos verdes certificados (RGB) muestran una causalidad significativa del índice de bonos verdes sobre los bonos convencionales en la escala de media de frecuencia (16-256 días) desde 2018 hasta finales de 2022. Se evidencian registros en frecuencias más largas desde 2019, con una relación bidireccional de causalidad significativa en 2022, atribuible a la crisis económica mundial.

Los resultados indican que los bonos verdes, tanto certificados como autoetiquetados, exhiben comportamientos similares a los bonos convencionales y son afectados de manera similar por los eventos que impactan los rendimientos de los bonos del tesoro público de Estados Unidos. La pandemia de 2020 generó cambios significativos en los rendimientos de los bonos, evidenciando una correlación positiva. Los espectros de potencia *wavelet* revelan volatilidades en los rendimientos de los bonos. La coherencia *wavelet* señala una causalidad bidireccional durante la crisis económica mundial en 2022. En conclusión, los hallazgos resaltan que los bonos verdes, ya certificados, ya autoetiquetados, son una opción atractiva y prometedora en el mercado de bonos debido a su capacidad para integrar los mercados financieros con la sostenibilidad.

Las figuras de coherencia *wavelet* en los retornos de bonos revelan una causalidad significativa de los bonos convencionales sobre los bonos verdes autoetiquetados a largo plazo, con períodos de alta volatilidad a corto plazo, especialmente durante la pandemia y la crisis económica de 2020 y 2022. La coherencia *wavelet* entre los índices RGPB y RGB muestra una causalidad bidireccional prolongada, sugiriendo una correlación positiva entre ambos activos, con solo breves anomalías detectadas en 2018 en frecuencias de largo plazo. Esto sugiere una conexión lógica dada la naturaleza y el destino de los recursos invertidos en los bonos verdes.

Los resultados de la coherencia *wavelet* revelan que los bonos verdes certificados y autoetiquetados ejercen una causalidad significativa sobre los bonos convencionales del tesoro público de Estados Unidos a mediano y largo plazo, especialmente

durante la crisis económica mundial de 2022. Esta causalidad se observó en diversas frecuencias temporales, desde 16 días hasta más de 512 días. Es importante destacar que estas causalidades son positivas, lo que significa que los efectos en las volatilidades de los bonos son similares, reflejando la misma dirección en respuesta a los eventos económicos (Barao *et al.*, 2022). Además, la correlación entre bonos verdes certificados y autoetiquetados muestra una causalidad positiva en todas las frecuencias de tiempo.

Esta investigación contribuye significativamente a la literatura financiera con base en Pham (2016) y en otros autores al examinar en detalle el comportamiento de los bonos verdes en comparación con los bonos convencionales, utilizando modelos analíticos avanzados, como DCC-GARCH y el análisis de coherencia y el espectro de potencia *wavelet*. Estos análisis revelan patrones de comportamiento similares entre los bonos estudiados, lo que sugiere un futuro prometedor para los bonos verdes. La combinación de estos modelos permite no solo analizar la volatilidad y el riesgo de los bonos verdes a lo largo del tiempo, sino también entender su relación con otros instrumentos financieros, como los bonos convencionales. Además, el uso de la coherencia y el espectro de potencia *wavelet* ayuda a examinar la causalidad entre los bonos verdes y los bonos convencionales en diferentes intervalos de tiempo, brindando información valiosa para los inversionistas interesados en diversificar su cartera de inversión con activos que muestren comportamientos similares.

Este estudio destaca la influencia de eventos como la pandemia y la crisis económica en los rendimientos de los bonos verdes y convencionales (Cárdenas y Hernández, 2022). Su contribución a la literatura financiera es valiosa al analizar el comportamiento de los bonos verdes en el mercado y su relación con los bonos convencionales, siendo útil para inversores interesados en activos sostenibles. Además, este análisis puede informar nuevas estrategias de inversión sostenible y mejorar la comprensión de los mercados verdes. Las implicaciones se extienden a inversores, gestores de activos, Gobiernos y organizaciones internacionales comprometidas con la sostenibilidad financiera y la mitigación del cambio climático.

En la investigación de Hachenberg y Schiereck (2018b), se examina si los bonos verdes tienen diferencias de precio en comparación con los bonos convencionales en los mercados primario y secundario en Europa. Se observa una ligera diferencia de precios en el mercado primario, mientras en el secundario la brecha entre los bonos verdes y convencionales es significativa. Esto sugiere que los inversores pagan un precio *premium* por los bonos verdes debido a su sostenibilidad y responsabilidad social.

Nguyen *et al.* (2021) también emplean la metodología de coherencia *wavelet* para analizar la relación entre bonos verdes y otros activos financieros durante 11 años. Encuentran que, a medida que los mercados buscan la descarbonización, los bonos verdes ganan terreno en las carteras de inversión debido a su naturaleza sostenible. Su enfoque está en el mercado chino, en el que los bonos verdes,

ya autoetiquetados, ya certificados, se asocian positivamente con el desempeño ambiental y social de las empresas emisoras.

Febi *et al.* (2018) examinan la relación entre la emisión de bonos verdes y el rendimiento de las empresas desde el punto de vista del valor del mercado, la eficiencia en costos y la rentabilidad. Concluyen que las emisiones de bonos verdes no tienen efectos negativos en el desempeño de las empresas ni en los rendimientos de las inversiones. Esto respalda la inversión en sostenibilidad y responsabilidad social, según lo evidenciado en su estudio.

El estudio cienciométrico de Marín-Rodríguez *et al.* (2022) analizó la dinámica entre los precios del petróleo y los activos financieros utilizando metodologías como *wavelet* y DCC-GARCH. Se encontró que existe una interdependencia entre los precios del petróleo y los mercados financieros, tanto a corto como a largo plazo, lo cual guarda similitudes con esta investigación que examina la relación entre activos convencionales y bonos de sostenibilidad.

En la investigación de Marín-Rodríguez *et al.* (2022), se destacó una interdependencia más pronunciada en las economías desarrolladas y los derrames financieros más notables en América Latina y Asia emergente. El estudio actual, centrado en índices del mercado norteamericano, ofrece la posibilidad de contrastar estas relaciones con la inclusión de variables macroeconómicas adicionales, abriendo la puerta a futuras investigaciones.

Los resultados empíricos de Gao *et al.* (2023) analizan el comovimiento y el riesgo indirecto entre los mercados financieros y los bonos verdes en China. Aunque no se encontraron rendimientos significativos en bonos verdes en comparación con otros bonos convencionales, se destacó una correlación positiva y su intensificación durante períodos de alta volatilidad.

La investigación de Marín-Rodríguez *et al.* (2022) exploró la relación entre dos activos convencionales (precio del petróleo Brent y emisiones de CO₂) y el índice de bonos verdes. Se encontró que los precios del petróleo impactan las emisiones de CO₂, lo que sugiere una interdependencia entre estos activos, coincidiendo con esta investigación que muestra una correlación positiva y causalidad bidireccional entre bonos verdes y convencionales, especialmente durante períodos de alta volatilidad.

En resumen, estos estudios respaldan la idea de que los bonos verdes son una inversión valiosa debido a su creciente demanda y su capacidad para generar rendimientos positivos en las carteras de inversión. Además, demuestran la importancia de la sostenibilidad y la responsabilidad social en los mercados financieros y sugieren que los bonos verdes son una herramienta efectiva para promover el cumplimiento de los ODS.

CONCLUSIONES

El análisis de la relación entre bonos verdes y bonos convencionales es crucial para los inversores que buscan comprender el desempeño y la causalidad entre estos activos. Aunque pocos estudios han abordado esta dinámica, es esencial para la toma de decisiones informadas en los mercados financieros. La correlación entre bonos verdes y convencionales ha sido históricamente baja, con registros del 13 % y del 5 % durante períodos como el tercer trimestre de 2018 y el inicio de la pandemia en 2021. Sin embargo, se observa tendencia hacia una correlación más fuerte, llegando hasta un 70 % después de las crisis financieras.

Los bonos verdes certificados y autoetiquetados muestran comportamientos similares a bonos convencionales, lo que los convierte en una opción atractiva para los inversores interesados en la sostenibilidad. Los eventos macroeconómicos, como la pandemia y las crisis financieras, afectan la correlación y volatilidad de los bonos, como se refleja en los análisis de coherencia *wavelet* y los espectros de potencia (Otero Iglesias y Steinberg, 2022).

El estudio también señala desafíos potenciales en el análisis, como la falta de precisión en las medidas estadísticas y la dependencia temporal (Marín-Rodríguez *et al.*, 2022, 2023). Aunque el enfoque se centra en el mercado estadounidense, se destaca la necesidad de investigar la relación entre bonos verdes y convencionales en otros contextos globales, como China y Europa.

Las conclusiones del estudio tienen implicaciones importantes para diversos actores del mercado financiero. Los inversores pueden utilizar estos análisis para diversificar sus portafolios de riesgos, mientras los emisores pueden evaluar el desempeño de sus bonos verdes en comparación con otros instrumentos financieros. Los reguladores también pueden utilizar estos hallazgos para promover prácticas financieras sostenibles, evaluando el impacto de bonos verdes en el mercado.

En conclusión, el análisis de relación entre bonos verdes y convencionales es fundamental para comprender tendencias del mercado y promover la inversión sostenible. Los estudios futuros podrían explorar cómo los bonos verdes se comportan en diferentes contextos económicos y evaluar su impacto ambiental a largo plazo. Estos análisis tienen el potencial de informar y mejorar las prácticas financieras en beneficio de la sostenibilidad y el medio ambiente.

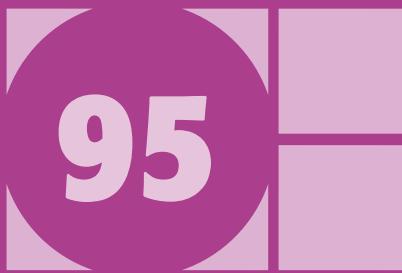
REFERENCIAS

1. Akomea-Frimpong, I., Adeabah, D., Ofosu, D., & Tenakwah, E. J. (2022). A review of studies on green finance of banks, research gaps and future directions. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 12(4), 1241-1264. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1870202>

2. Alm, K., & Sievänen, R. (2013). Institutional investors, climate change and human rights. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 3(3), 177-183. <https://doi.org/10.1080/20430795.2013.791139>
3. Amado, C., & Teräsvirta, T. (2014). Conditional correlation models of autoregressive conditional heteroscedasticity with nonstationary GARCH equations. *Journal of Business & Economic Statistics*, 32(1), 69-87. <https://doi.org/10.1080/07350015.2013.847376>
4. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
5. Banga, J. (2019). The green bond market: A potential source of climate finance for developing countries. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 9(1), 17-32. <https://doi.org/10.1080/20430795.2018.1498617>
6. Billio, M., Caporin, M., & Gobbo, M. (2006). Flexible dynamic conditional correlation multivariate garch models for asset allocation. *Applied Financial Economics Letters*, 2(02), 123-130. <https://doi.org/10.1080/17446540500428843>
7. Barao, V. A. R., Coata, R. C., Shibli J. A., Bertolini, M., & Souza, J.G.S. (2022). The impact of digital marketing success on customer loyalty. *Brazilian Dental Journal*, 33(1), 1-12.
8. Cárdenas, M., & Hernández, A. (2022). *Las repercusiones económicas de la guerra en Ucrania sobre América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/latin-america/publicaciones/las-repercusiones-economicas-de-la-guerra-en-ucrania-sobre-america-latina-y-el-caribe>
9. Carvalho Ferreira, S., & Kimura, B. (2016). A systematic review of literature about finance and sustainability. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 6(2), 112–147. <https://doi.org/10.1080/20430795.2016.1177438>
10. Chapman, D. A., & Pearson, N. D. (2001). Recent advances in estimating term-structure models. *Financial Analysts Journal*, 57(4), 77-95. <https://doi.org/10.2469/faj.v57.n4.2467>
11. El Ghoul, S., Guedhami, O., Kwok, C. C., & Mishra, D. R. (2011). Does corporate social responsibility affect the cost of capital? *Journal of Banking & Finance*, 35(9), 2388-2406. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.02.007>
12. Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of business & Economic Statistics*, 20(3), 339-350. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>

13. Engle, R. F. (2004). Robert F Engle: Understanding volatility as a process. *Quantitative Finance*, 4(2), C19-C20. <https://doi.org/10.1080/14697680400000028>
14. Febi, W., Schäfer, D., Stephan, A., & Sun, C. (2018). The impact of liquidity risk on the yield spread of green bonds. *Finance Research Letters*, 27, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.02.025>
15. Flammer, C. (2020). Green bonds: Effectiveness and implications for public policy. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, 1(1), 95-128. <https://doi.org/10.1086/706794>
16. Gao, L., Guo, K., & Wei, X. (2023). Dynamic relationship between green bonds and major financial asset markets from the perspective of climate change. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1109796. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1109796>
17. Hachenberg, B., & Schiereck, D. (2018). Are green bonds priced differently from conventional bonds? *Journal of Asset Management*, 19, 371-383. <https://doi.org/10.1057/s41260-018-0088-5>
18. Kolb, R. W. (2008). Encyclopedia of business ethics and society. *Journal of Business & Finance Librarianship*, 14(1), 98-99. <https://doi.org/10.1080/08963560802356445>
19. Maltais, A., & Nykvist, B. (2021). Understanding the role of green bonds in advancing sustainability. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, 11(3), 233-252. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1724864>
20. Marín-Rodríguez, N. J., González-Ruiz, J. D., & Botero Botero, S. (2022). Dynamic co-movements among oil prices and financial assets: A scientometric analysis. *Sustainability*, 14(19), 12796. <https://doi.org/10.3390/su141912796>
21. Marín-Rodríguez, N. J., González-Ruiz, J. D., & Botero, S. (2022). Dynamic relationships among green bonds, CO₂ emissions, and oil prices. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 992726. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.992726>
22. Marín-Rodríguez, N. J., González-Ruiz, J. D., & Botero, S. (2023). A wavelet analysis of the dynamic connectedness among oil prices, green bonds, and CO₂ emissions. *Risks*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/risks11010015>
23. Mascareñas, J. (2017). *La valoración de los activos de renta fija*. https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID4744510_code2103342.pdf?abstractid=2314094&mirid=1
24. Naeem, M. A., Farid, S., Ferrer, R., & Shahzad, S. J. H. (2021). Comparative efficiency of green and conventional bonds pre-and during covid-19: An asymmetric multifractal detrended fluctuation analysis. *Energy Policy*, 153, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112285>

25. Nguyen, T. T. H., Naeem, M. A., Balli, F., Balli, H. O., & Vo, X. V. (2021). Time-frequency comovement among green bonds, stocks, commodities, clean energy, and conventional bonds. *Finance Research Letters*, 40, 101739. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101739>
26. Nikolakis, W., Cohen, D. H., & Nelson, H. W. (2012). What matters for socially responsible investment (SRI) in the natural resources sectors? SRI mutual funds and forestry in North America. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 2(2), 136-151. <https://doi.org/10.1080/20430795.2012.690724>
27. Otero Iglesias, M., & Steinberg, F. (2022). *La guerra de Ucrania en el tablero económico*. Real Instituto Elcano. <https://www.realinstitutoelcano.org/comentarios/la-guerra-de-ucrania-en-el-tablero-economico/>
28. Pham, L. (2016). Is it risky to go green? A volatility analysis of the green bond market. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 6(4), 263-291. <https://doi.org/10.1080/20430795.2016.1237244>
29. Reboredo, J. C. (2018). Green bond and financial markets: Co-movement, diversification and price spillover effects. *Energy Economics*, 74, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.030>
30. Reboredo, J. C., & Ugolini, A. (2020). Price connectedness between green bond and financial markets. *Economic Modelling*, 88, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.09.004>
31. Reboredo, J. C., Rivera-Castro, M. A., & Ugolini, A. (2017). Wavelet-based test of co-movement and causality between oil and renewable energy stock prices. *Energy Economics*, 61, 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.10.015>
32. Sadorsky, P. (2012). Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies. *Energy Economics*, 34(1), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.03.006>
33. Vandekerckhove, W., & Lewis, D. (2012). *The content of whistleblowing procedures: A critical review of recent official guidelines*. *Journal of Business Ethics*, 108, 253-264. <https://doi.org/10.1007/s10551-011-1089-1>
34. Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111, 1053-1070. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7>
35. Zivot, E. (2006). Statistics and finance: An introduction. *Journal of the American Statistical Association*, 101(474), 849-850. <https://doi.org/10.1198/jasa.2006.s103>



CUADERNOS DE ECONOMÍA

ISSN 0121-4772

ARTÍCULOS

DAVID EDUARDO DONADO SIERRA, MÓNICA ANDREA ARANGO ARANGO Y SANTIAGO BOHÓRQUEZ CORREA

Depósito a término fijo e indicador bancario de referencia:

análisis de la migración de tasas de interés en Colombia

647

JOSÉ RAMÍREZ-ÁLVAREZ, GUILLERMO FEIJÓO Y KATHERINE MALDONADO-HIDROBO

IMF proposed tax reforms in Ecuador: A general equilibrium analysis

677

VICENTE GERMÁN-SOTO, ANDREA N. OROZCO CASAS Y REYNA E. RODRÍGUEZ PÉREZ

Dinámica transicional entre productividad y eficiencia de la inversión de los estados mexicanos: economía total y sector transporte

705

MARÍA DEL ROSARIO GRANADOS SÁNCHEZ, JAVIER GALÁN FIGUEROA Y LUIS GÓMEZ OLIVER

La volatilidad en el precio de los alimentos de la canasta básica en seis entidades de México (2018-2022)

737

ERICK LAHURA Y JHAKELINHE GONZALES-SINCHE

Relación entre el nivel socioeconómico y el rendimiento académico escolar: evidencia de la Evaluación Censal de Estudiantes 2019

789

RAPHAEL JOSÉ PEREIRA FREITAS Y CLEOMAR GOMES DA SILVA

The coordination of monetary and fiscal policies in Brazil and the New Macroeconomic Matrix

823

OSCAR DARIO QUIROZ MENDOZA, NINI JOHANA MARÍN RODRÍGUEZ Y FABIÁN HERNANDO RAMÍREZ ATEHORTÚA

Ánalisis del comovimiento entre los bonos verdes certificados, los bonos verdes autoetiquetados y los bonos convencionales (2018-2023)

857

NATALIA SOLEDAD KRÜGER Y MARÍA MARTA FORMICHELLA

La dimensión territorial de la desigualdad educativa: brechas regionales en el desempeño al finalizar el nivel secundario argentino

893

NORA ELENA ESPINAL-MONSLAVE, LINDA NATALY CORREDOR-MARTÍNEZ Y VALENTINA SARMIENTO-DOMÍNGUEZ

Estudio bibliométrico de la economía de la cultura en Colombia (2001-2023)

929

LORENA SOTELO-FORERO Y LUIS-E. VALLEJO-ZAMUDIO

Caracterización de la desigualdad económica entre las regiones de Colombia (2002-2022)

965

MARGARITA VELÍN-FÁREZ

Fiscal sustainability and universal pensions: Public pensions in Ecuador

997

CLARISA SOLANGE ZAMORA BOZA Y MARÍA AMALIA TRILLO HOLGADO

Una mirada analítica a los modelos de innovación agrícola

1025

PABLO MEJÍA-REYES, LUIS BRITO-CRUZ Y VÍCTOR HUGO TORRES-PRECIAZO

Effects of government expenditure on employment in the Mexican states, 2006-2018: A spatial panel data approach

1061

RESEÑA

FREDDY CANTE

Second thoughts on Kahneman's thinking,
fast and slow

1085

ISSN 0121-4772



9 770121 477005



95