

Conectividad entre la volatilidad del mercado bonos verdes y no verdes con los mercados internacionales

Francisco Gálvez-Gamboa* Académico, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.
fgalvez@ucm.clErik Muñoz-Henríquez Estudiante Doctoral, Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Talca, Talca, Chile.
erik.munoz@utalca.clElmer Sánchez-Dávila Académico, Facultad de Economía, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
esanchezd@puccp.pe

Resumen

En este trabajo de investigación, se analizaron los efectos *spillover* de la volatilidad entre el mercado de bonos verdes y no verdes estadounidense con los mercados internacionales entre el 2018 y el 2023. El trabajo empírico utilizó como metodología el dominio temporal y de frecuencia para analizar la conectividad en el corto, mediano y largo plazo. Los resultados muestran que los mercados de bonos verdes y no verdes son receptores de volatilidad, aunque los bonos verdes son receptores en una magnitud inferior a la de los bonos tradicionales. Pese a lo anterior, los bonos tradicionales son receptores de volatilidad en periodos como la COVID-19, mientras que los bonos verdes son receptores en el periodo del conflicto Rusia-Ucrania.

Palabras clave: efectos indirectos de volatilidad; mercados financieros; bonos; bonos verdes.

Connectivity between the volatility of green and non-green bond markets with international markets

Abstract

This research paper analyzes the spillover effects of volatility between the U. S. green and non-green bond markets with international market volatility between 2018 and 2023. The empirical work used time and frequency domain methodology to analyze the connectivity in the short, medium, and long term. The results demonstrate that both green and non-green bond markets are recipients of volatility, although green bonds receive volatility to a lesser extent than traditional bonds. Despite this, traditional bonds become recipients of volatility during periods such as the COVID-19 pandemic, while green bonds experience volatility reception during the Russia-Ukraine conflict period.

Keywords: indirect volatility effects; financial markets; bonds; green bonds.

Conectividade entre a volatilidade do mercado de títulos verdes e não verdes com os mercados internacionais

Resumo

Neste trabalho de pesquisa, foram analisados os efeitos *spillover* da volatilidade entre o mercado de títulos verdes e não verdes dos EUA com os mercados internacionais entre 2018 e 2023. O trabalho empírico utilizou o domínio do tempo e da frequência como metodologia para analisar a conectividade no curto, médio e longo prazo. Os resultados mostram que os mercados de títulos verdes e não verdes são receptores de volatilidade, embora as obrigações verdes sejam receptoras numa magnitude menor do que os títulos tradicionais. Apesar do acima exposto, os títulos tradicionais são receptores de volatilidade em períodos como a Covid-19, enquanto os títulos verdes são receptores durante o período do conflito Rússia-Ucrânia.

Palavras-chave: efeitos indiretos da volatilidade; mercados financeiros; títulos; títulos verdes.

* Autor para dirigir correspondencia.

Clasificación JEL: C32; E44; G10.

Como citar: Gálvez-Gamboa, F., Muñoz-Henríquez, E. y Sánchez-Dávila, E. (2024). Conectividad entre la volatilidad del mercado bonos verdes y no verdes con los mercados internacionales. *Estudios Gerenciales*, 40(170), 2-12. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2024.170.6228>

DOI: <https://doi.org/10.18046/j.estger.2024.170.6228>

Recibido: 28-06-2023
Aceptado: 15-11-2023
Publicado: 30-04-2024

1. Introducción

El cambio climático ha intensificado la agenda climática y la conciencia ambiental a nivel internacional. En ese contexto, los mercados de activos financieros ofrecen cada vez más vías financieras responsables con el medioambiente (Abdullah et al., 2023). Esta situación cobra mucha importancia a nivel científico cuando se trata de estudiar la conexión y la volatilidad de los mercados financieros que ofrecen finanzas verdes, tras cuyas iniciativas subyacen proyectos ambientales (Nguyen et al., 2021). En relación con ello, los bonos verdes ofrecen una alternativa que permite captar capital para financiar proyectos verdes y ambientalmente responsables (Flammer, 2021).

En este marco, varios trabajos han estudiado el comportamiento de los bonos verdes y los mercados, sobre todo considerando las implicancias que tienen para los inversionistas y formuladores de políticas. Por ejemplo, el estudio de Mensi et al. (2022) analiza la conexión entre bonos verdes y el indicador S&P500, y demuestra que existe una conexión mayor en periodos de crisis. Otros trabajos, como los desarrollados por Pham et al. (2023) o Yahya et al. (2023), muestran la relevancia de comprender el comportamiento de estos activos financieros. Esto se fundamenta en que su comportamiento en términos de rendimiento y volatilidad se ve afectado en casos como crisis y situaciones que impliquen políticas económicas ambientales.

Los estudios a la fecha muestran que es importante estudiar con más profundidad la volatilidad, pues esta permite comprender el comportamiento del mercado financiero verde. Este mercado es de suma relevancia para el desarrollo de iniciativas socialmente responsables y positivas para el medioambiente en un entorno de incertidumbre, producto del cambio climático. Este trabajo ayuda a profundizar en la volatilidad de los mercados de bonos verdes y, también, en la conectividad que existe con los mercados tradicionales de bonos e indicadores de volatilidad del mercado. El objetivo de este trabajo de investigación fue analizar la conectividad de la volatilidad entre el mercado de bonos verdes y no verdes estadounidense, además de su relación con la volatilidad de los mercados internacionales. Se utiliza como metodología la propuesta de Diebold y Yilmaz (2012) y Baruník y Křehlík (2018) para analizar la conectividad e inspeccionar los cambios en diferentes dominios de frecuencias temporales.

Los resultados muestran que, a corto plazo, existe un comportamiento similar entre la volatilidad de bonos verdes y no verdes, mientras que, a largo plazo, tienen un comportamiento diferenciado. La volatilidad del mercado de bonos verdes está altamente influenciada por la volatilidad de mercados, aunque en una cuantía menor que los bonos tradicionales. En general, los bonos verdes son menos volátiles y receptores de la volatilidad de los mercados financieros y la incertidumbre en el

largo plazo. La investigación contribuye a la comprensión del comportamiento del mercado de bonos verdes y no verdes, específicamente en la gestión de riesgos y toma de decisiones de inversores. Por su parte, los resultados contribuyen a comprender de mejor manera las interacciones de ambos tipos de bonos con otros activos financieros, considerando las opciones de diversificación de riesgos y carteras en un contexto en el que cada vez se vuelve más relevante la conciencia sobre el medioambiente.

El documento se estructura de la siguiente forma. Luego de esta introducción, se presenta una revisión a la literatura; se explican los datos y la metodología empleada; se muestran los resultados empíricos; y, por último, se presentan las conclusiones e implicancias.

2. Marco teórico

Los bonos verdes son bonos corporativos que financian proyectos amigables con el medioambiente (Flammer, 2021). Estos bonos han tenido un crecimiento permanente durante los últimos años, por lo que se han mostrado como una alternativa para inversores; su estudio es relevante para ellos y los formuladores de políticas (Su et al., 2022). Para ser más atractivos, estos bonos deben ser menos riesgosos que los tradicionales frente a decisiones como tasas de interés (Gozgor y Karakas, 2023). Lo anterior representa la importancia que tiene estudiar el comportamiento de este tipo de bonos, considerando el impacto medioambiental tras los proyectos que financian.

En ese contexto, Reboredo (2018) estudió la relevancia para la diversificación de carteras de inversores y demostró que existen beneficios de diversificación considerables para aquellos que transan en los mercados de acciones y energía. Esta situación ha sido explorada además en trabajos como el realizado por Naeem et al. (2022), quienes demostraron que en situaciones de volatilidad los bonos verdes suelen ofrecer beneficios de diversificación a los inversores. Autores como Han y Li (2022), mediante un enfoque de cópula y C-VaR, analizaron la asignación de bonos verdes a carteras de inversiones. Los autores notaron que las carteras que incorporan bonos verdes superan a las que no los incorporan, incluso a las compuestas por bonos tradicionales.

Conforme a ello, la conectividad entre mercados de bonos verdes y financieros ya ha sido estudiada. Por ejemplo, Reboredo y Ugolini (2020), a través de un modelo vectorial autorregresivo (VAR) estructural, demostraron que el mercado de bonos verdes se relaciona fuertemente con el mercado de renta fija y divisas. Autores como Su y Lin (2022) señalan que la investigación es aún insuficiente para comprender el comportamiento de bonos verdes, considerando la relevancia de estos como una opción de activo emergente. También, Gozgor y Karakas (2023) mencionan en su trabajo la necesidad de explorar cuestiones como la incorporación de medidas

de incertidumbre, con la finalidad de comprender mejor el comportamiento de este mercado particular. Esto es relevante porque algunos trabajos del área muestran que este tipo de bonos suelen tener una volatilidad y comportamiento diferentes a los bonos tradicionales (Xia et al., 2022).

Así, trabajos como el realizado por Koçak et al. (2022) mostraron que las acciones verdes, medidas por S&P500 CEI, se ven afectadas positivamente por la incertidumbre generada por la COVID-19, el precio del petróleo y las respuestas gubernamentales a la crisis, y negativamente por la incertidumbre de política económica y los temores de respuesta de los mercados globales. Esto es usual y similar a lo presentado en los mercados financieros respecto a situaciones de incertidumbre en pandemia, conflictos geopolíticos o incertidumbre política (Henríquez y Gálvez-Gamboa, 2022). También, trabajos como el planteado por Tang et al. (2023) han analizado los efectos asimétricos del petróleo, la política económica y los actos geopolíticos sobre el rendimiento de bonos verdes.

Por otro lado, la incertidumbre ha sido explorada por algunos autores, por ejemplo, Cagli et al. (2022), en su trabajo mediante un enfoque no paramétrico, muestran que existen transmisiones bidireccionales entre la volatilidad del petróleo y los índices de sustentabilidad. Así mismo, trabajos como el desarrollado por Marín-Rodríguez et al. (2023), a través de análisis Wavelet, mostraron que existen efectos del mercado del petróleo sobre el mercado de bonos verdes a mediano plazo. Otros autores como Khalfaoui et al. (2022) analizaron con un enfoque VAR la red de efectos secundarios del impacto en los mercados verdes de mercados financieros asociados a la energía, al medioambiente, a las criptomonedas y a la incertidumbre. Entre sus principales conclusiones destacan que existen efectos de conectividad con los mercados globales y la incertidumbre, y notaron que esta última produce efectos secundarios en el rendimiento de los mercados verdes.

Por su parte, Qi y Zhang (2022) estudiaron la conectividad dinámica de los bonos verdes en China a través de análisis Wavelet y TVP-VAR. Los autores notaron que la conectividad con los mercados de valores es baja a corto plazo, pero se estrecha a largo plazo, a excepción de crisis como la ocurrida durante la COVID-19. La evidencia de trabajos empíricos ha demostrado que los bonos verdes dependen de proyectos a largo plazo y, por tanto, la conectividad con otros mercados suele no observarse de manera instantánea (Li et al., 2020). En el mismo contexto, Su et al. (2022) utilizaron un enfoque de frecuencia temporal y MVMQ-CAViaR para demostrar que los bonos verdes y activos de renta fija tienen una alta transmisión de efectos indirectos de rendimiento y volatilidad. También, Pham y Do (2022) estudiaron las volatilidades implícitas en el mercado de bonos verdes y demostraron que existe una relación causal significativa entre el rendimiento de las volatilidades implícitas y el rendimiento de bonos verdes. Asimismo, Elsayed

et al. (2022) estudiaron la conectividad en el tiempo y notaron que a largo plazo el mercado de bonos verde está altamente relacionado con el mercado financiero. El trabajo se centra, sobre todo, en dominio y frecuencia temporal tradicional, sin considerar los efectos a corto, mediano y largo plazo, como esta aplicación empírica.

Por otra parte, Liu (2022) estudió la respuesta del mercado de bonos verdes a la COVID-19 y notó que existieron retornos negativos durante la pandemia, por lo que este tipo de bonos también son riesgosos bajo condiciones extremas, principalmente porque son impulsados directamente por el mercado de renta fija tradicional. El autor, a través de un análisis DCC-GARCH, mostró que el mercado de bonos verdes se encuentra relacionado con los mercados de energías. A través de la misma metodología, Wang et al. (2022) estudiaron la causalidad asimétrica de la incertidumbre de política económica y el índice del mercado del petróleo sobre el mercado de bonos verdes. Los autores demostraron que existe causalidad entre la incertidumbre medida por la política económica y el petróleo sobre los mercados de bonos verdes, e indicaron que ambos tienen un alto poder predictivo al explicar el rendimiento de este tipo de bonos.

Sumado a esto, algunos trabajos han analizado los efectos asimétricos y la transmisión de mercados sobre las acciones de energías renovables como la energía solar. Por ejemplo, Yahya et al. (2023) demostraron, con un modelo DCC, ADCC y regresión de cuantil, que los efectos contagio son mayores durante periodos de crisis como la COVID-19. Las acciones verdes igualmente han sido estudiadas según su reacción por eventos de política ambiental, como el Acuerdo de París. En este marco, en el trabajo realizado por Pham et al. (2023) se analizó el rendimiento, la volatilidad y la conectividad de acciones, con un enfoque de red de conectividad basado en regresión LASSO-VAR. Los resultados de los autores muestran que las noticias políticas y ambientales producen un impacto en la conectividad de activos verdes. También, trabajos como el desarrollado por Doğan et al. (2023) estudiaron la conectividad de bonos verdes y mostraron que esta se encuentra relacionada con otros mercados como el del petróleo.

En tal sentido, trabajos empíricos como el realizado por Tian et al. (2022) estudiaron los efectos asimétricos de la incertidumbre política, enfermedades infecciosas, volatilidad del petróleo y riesgos geopolíticos sobre los bonos verdes. Los autores, a través de un modelo ARDL no lineal, mostraron que existen efectos heterogéneos de estas variables sobre el mercado de bonos verdes; los más afectados a corto plazo son los bonos del mercado chino y a largo plazo, los del mercado europeo y de Estados Unidos. El trabajo sugiere que el plazo y características de los bonos tienen implicancias directas sobre cómo la incertidumbre puede afectarles, y señala que los activos de Estados Unidos y Europa suelen tener un plazo más extenso, situación que explica la heterogeneidad del efecto.

En resumen, la evidencia empírica muestra que existen efectos de conectividad entre los mercados internacionales, la incertidumbre y los mercados de bonos verdes y no verdes. Este trabajo profundiza en dos aspectos. Primero, en la volatilidad del mercado de bonos verdes y no verdes, situación expuesta como línea de desarrollo emergente en los estudios del área. Segundo, a través de la metodología propuesta por Diebold y Yilmaz (2012) y Baruník y Křehlík (2018) se estudia el efecto de conectividad en la volatilidad, para lo cual se consideran diferentes temporalidades. Ambos elementos son un aporte para el desarrollo y profundización del conocimiento en cuanto al comportamiento de este tipo de bonos, y conforman un instrumento relevante tanto para inversores como para formuladores de políticas proambientales.

3. Metodología

3.1 Descripción de los datos

En esta aplicación se utilizan datos comprendidos entre el 27 de noviembre del 2018 y el 27 de abril del 2023. Los indicadores utilizados son el US Bond Index (en adelante, USBI) y US GreenBond Index (en adelante, USGBI), que miden el rendimiento del mercado de bonos estadounidenses tradicionales y con foco en proyectos

e iniciativas medioambientales, respectivamente. Los indicadores utilizados como control son el Volatility Index (en adelante, VIX) de Estados Unidos, Oil Volatility Index (en adelante, OVX), Gold Volatility Index (en adelante, GVZ) y VSTOXX 50 de Europa. Estos indicadores son comúnmente utilizados para medir la volatilidad de los mercados internacionales (Feng et al., 2021; Liu et al. 2020). En el análisis se utilizan las volatilidades (*close to close*) de las series de bonos verdes (USGBI) y no verdes (USBI). Las volatilidades se obtienen a partir de $\sigma_{ci} = \sqrt{\frac{N}{N-2} \sum_{t=1}^{N-1} (r_t - \bar{r})^2}$ donde $r_t = \log\left(\frac{c_t}{c_{t-1}}\right)$ y $\bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_{N-1}}{N-1}$.

La Figura 1 muestra un conjunto de gráficos de las series utilizadas. Se muestran los retornos de USBI y USGBI, y las series de VIX, OVX, GVZ y VSTOXX. Los gráficos muestran en vertical las fechas asociada al inicio de la pandemia por la COVID-19 en el 2020 y el inicio del conflicto entre Rusia-Ucrania en el 2022. La Tabla 1 muestra las principales estadísticas descriptivas para los datos objeto de análisis, los que en total suman 1054 observaciones, desde el 27 de noviembre del 2018. Las estadísticas descriptivas muestran que las series son estacionarias, a partir de las pruebas de raíz unitaria Dickey Fuller aumentada (ADF) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). También, las series asociadas a la volatilidad de bonos verdes y no verdes (USGBI y USBI) muestran que existe una mayor volatilidad promedio de los bonos tradicionales para el periodo en estudio.

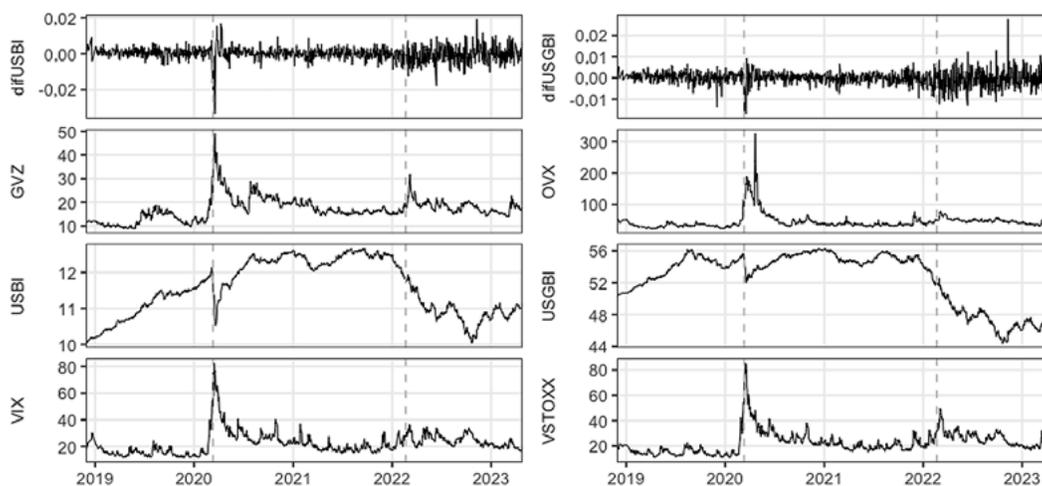


Figura 1. Gráficas para series y retornos.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos.

	Media	Desv. est.	Mín.	Máx.	Asimetría	Curtosis	JB	ADF	KPSS
USBI (volatilidad)	0,053	0,029	0,013	0,271	2,669	13,259	0,001	0,010	0,010
USGBI (volatilidad)	0,049	0,027	0,011	0,153	1,416	2,479	0,001	0,010	0,010
VIX	22,436	8,464	11,540	71,150	2,500	10,856	0,001	0,012	0,010
OVX	46,515	25,370	24,450	300,700	4,743	29,835	0,001	0,095	0,085
GVZ	17,331	4,818	8,880	40,100	1,531	5,803	0,001	0,048	0,010
VSTOXX	22,755	8,904	10,690	74,930	2,399	10,324	0,001	0,010	0,010

Nota. Las columnas JB, ADF y KPSS muestran las pruebas de normalidad y estacionariedad, respectivamente. La muestra contiene 1054 observaciones.
Fuente: elaboración propia.

3.2 Metodología

Para estudiar la relación entre la volatilidad de los bonos verdes y no verdes, respecto a la incertidumbre y medidas de volatilidad internacional, se propone utilizar la metodología propuesta por [Diebold y Yilmaz \(2012\)](#). Esta metodología se basa en descomposiciones de la varianza del error del pronóstico con base en un modelo autorregresivo vectorial generalizado (VAR).

La forma general del modelo es la siguiente:

$$y_t = \sum_{i=1}^p \Phi y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

En la ecuación (1) y_t es el vector de tamaño M que contiene todas las volatilidades en el periodo t , $y_t \sim N(0, \Sigma)$ es un vector de errores. Tomando como referencia este, la descomposición de la varianza del error del pronóstico generalizado de H se define por

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{ij}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma A_h' e_i)^2} \quad (2)$$

En la ecuación (3) $H=1,2,\dots$, y $i,j=1,2,\dots,M$. En tanto, Σ es la matriz de varianza-covarianza del vector de errores ε_t , σ_{ij} es la desviación del término de error para la j -ésima ecuación, A_h es la matriz de coeficientes del vector de errores con retardo h en la representación de media móvil infinita del modelo VAR y e_i es el vector de selección, con uno como elemento i -ésimo y ceros en caso contrario. Por tanto, la suma de los elementos en cada fila de la tabla de descomposición de la varianza no es igual a uno $\sum_{j=1}^M \theta_{ij}^g(H) \neq 1$, condición necesaria dado que los choques no son forzosamente ortogonales.

Así, el cálculo de $\theta_{ij}^g(H)$ puede normalizarse de forma que sean comparables los efectos spillover direccionales por pares individuales de los mercados analizados a través de

$$\tilde{\theta}_{ij}^g(H) = \frac{\theta_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^M \theta_{ij}^g(H)} \quad (3)$$

Por construcción, en la ecuación (4) $\sum_{j=1}^M \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = 1$ y $\sum_{i,j=1}^M \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = M$. En adelante y para simplificar la notación, se utiliza $S_{i \leftarrow j}^H$ en vez de $\tilde{\theta}_{ij}^g(H)$ para describir la dirección del efecto spillover de los mercados estudiados.

De esta manera, el spillover direccional (From) recibido por el mercado i de todos los demás mercados j se puede definir como

$$S_{i \leftarrow \cdot}^H = \frac{\sum_{j \neq i}^M \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{M} \quad (4)$$

Y, por tanto, la contribución del mercado j a todos los demás mercados i (To) puede describirse mediante

$$S_{\cdot \leftarrow j}^H = \frac{\sum_{i \neq j}^M \tilde{\theta}_{ji}^g(H)}{M} \quad (5)$$

Así, el spillover neto del mercado i a todos los demás mercados j corresponde a la diferencia entre el spillover direccional y puede calcularse como

$$S_i^H = S_{\cdot \leftarrow i}^H - S_{i \leftarrow \cdot}^H \quad (6)$$

La metodología permite identificar los mercados que son transmisores netos ($S_i^H > 0$) y receptores netos ($S_i^H < 0$), en este caso de volatilidad. Finalmente, el índice de spillover total puede ser estimado a partir de la ecuación

$$S^H = \frac{\sum_{i,j=1}^M \tilde{\theta}_{ij}^g(H)}{M} \quad (7)$$

El spillover total puede obtenerse a partir del ratio de la suma de los elementos fuera de la diagonal de $\tilde{\theta}_{ij}^g(H)$ y la suma de todos los otros elementos.

El objetivo de la investigación implica conocer la relación entre los diferentes mercados con dominio de tiempo y frecuencia. Por tanto, se implementa la solución de [Baruník y Křehlík \(2018\)](#), quienes proponen estimar esta conexión a corto, mediano y largo plazo, con base en la representación espectral de la descomposición de la varianza utilizando como base el spillover index propuesto por [Diebold y Yilmaz \(2012\)](#). Así, la función de respuesta de frecuencia puede ser obtenida a través de una transformación de Fourier de los coeficientes de ψ_h de la forma

$$\psi(e^{-i\omega}) = \sum_{h=0}^{\infty} e^{-i\omega h} \psi_h \quad (8)$$

donde ω es la frecuencia e $i = \sqrt{-1}$.

Respecto a esta última, el espectro de causalidad generalizada sobre la frecuencia $\omega \in (-\pi, \pi)$ puede ser representado por la ecuación

$$\theta_{ij}(\omega) = \frac{\sigma_{ij}^{-1} \sum_{h=0}^{\infty} (\psi(e^{i\omega}) \Sigma)^2_{ij}}{\sum_{h=0}^{\infty} (\psi(e^{-i\omega}) \Sigma \psi(e^{-i\omega}))_{ii}} \quad (9)$$

En la ecuación (10), $\theta_{ij}(\omega)$ es la porción del espectro de la variable i -ésima a una frecuencia dada ω , la que puede ser atribuida a choques en la serie j -ésima. Para analizar el dominio de frecuencia se normaliza dicha ecuación y queda expresada por

$$\tilde{\theta}_{ij}(\omega) = \frac{\theta_{ij}(\omega)}{\sum_{h=1}^n \theta_{ij}(\omega)} \quad (10)$$

En la ecuación (11), $\tilde{\theta}_{ij}(\omega)$ representa la conectividad por pares (pairwise) desde j a i a una frecuencia ω , diferente

al $\tilde{\theta}_{ij}^*(H)$ que mide la conectividad por pares desde j a i a un horizonte de tiempo H . Así, es posible establecer un conjunto de bandas para analizar la conexión entre los mercados de forma desagregada y las respuestas de frecuencias diferenciadas a los choques, como se propone en los objetivos de esta investigación.

Las bandas de frecuencias $d=(a,b)$ pueden ser calculadas desde

$$\tilde{\theta}_{ij}^*(d) = \int_a^b \tilde{\theta}_{ij}^*(\omega) d\omega \quad (11)$$

A través de esta, es posible estimar los indicadores propuestos por Diebold y Yilmaz [2012], pero considerando una banda de frecuencia d , y así estudiar la conectividad de manera desagregada.

La conexión direccional “From” se obtiene a partir de

$$S_{i \leftarrow o}^d = \frac{\sum_{j \neq i}^M \tilde{\theta}_{ij}^*(d)}{M} \quad (12)$$

La conexión direccional “To” se obtiene a partir de

$$S_{o \rightarrow j}^d = \frac{\sum_{i \neq j}^M \tilde{\theta}_{ij}^*(d)}{M} \quad (13)$$

Por su parte, la conectividad neta a una banda de frecuencia d se obtiene a partir de

$$S_i^d = C_{o \leftarrow i}^d - C_{i \leftarrow o}^d \quad (14)$$

Por último, el ratio de la suma de los elementos fuera de la diagonal de $\tilde{\theta}_{ij}^*(H)$ (d) y la suma de todos los otros elementos a una banda de frecuencia dada representan el índice de conexión total de los mercados y se obtiene a partir de

$$S^d = \frac{\sum_{i \neq j}^M \tilde{\theta}_{ij}^*(d)}{M} \quad (15)$$

4. Resultados empíricos

Siguiendo la metodología de Diebold y Yilmaz [2012] y Baruník y Křehlík [2018], en adelante DY [2012] y BK [2018], se estima un modelo VAR (2) de las volatilidades de rango diario y cuya selección se realiza con base en el criterio de información de Schwarz. Las medidas de conectividad dinámica a partir del modelo VAR son obtenidas con ventanas móviles (*rolling-windows*) de 100 días.

La Figura 2 muestra los resultados de la conectividad total dinámica y la descomposición de frecuencia de las volatilidades del sistema; se puede observar que la conectividad aumenta para periodos de incertidumbre como en la COVID-19 y el conflicto Rusia-Ucrania (la primera línea gris punteada vertical muestra la fecha

de declaración de pandemia mundial por COVID-19 [11-03-2020] y la segunda, la del conflicto entre Rusia-Ucrania [20-02-2022]). La conectividad en el corto plazo se mueve en torno al 1%, mientras que la del mediano plazo, en torno al 5% y al largo plazo, sobre el 40%. Es posible apreciar que la conectividad a corto y mediano plazo es bastante estable, a excepción de periodos de incertidumbre global graficada en los puntos cercanos a las líneas grises punteadas verticales.

Por lo demás, también es posible evidenciar que a inicios del 2021 la volatilidad y la conectividad de mercados en el sistema cayó producto de la implementación de medidas de estímulo económico y por los procesos de vacunación contra la COVID-19, lo que produjo confianza en los inversores y disminuyó la incertidumbre futura; se elevó luego al inicio del conflicto Rusia-Ucrania.

Los resultados para DY [2012] y BK [2018] son presentados en la Tabla 2; es posible observar que la conectividad total es de un 60,77% a partir de la estimación de DY [2012]. Esto entrega un primer indicio de que la volatilidad de los mercados de bonos verdes y no verdes y la incertidumbre medida por los índices de volatilidad se encuentran relacionados. En los resultados de DY [2012] es posible apreciar también los efectos de derrame para el sistema; se observa que existen magnitudes bastante equilibradas entre las diferentes series. El indicador que más contribuye al sistema es OVX con un 12,89%, mientras que el que menos contribuye es el mercado de bonos verdes (UBGBI) con un 7,75%. Esto puede estar relacionado con que este tipo de activos presente menor volatilidad y, también, que sea menos volátil al riesgo inherente de la volatilidad internacional medida por VIX, OVX, GVZ y VSTOXX.

Ahora bien, al analizar los resultados de BK [2018], considerando la descomposición en función de frecuencias, los resultados de los mercados en análisis contribuyen a la conectividad de la volatilidad más bien a largo plazo. En términos de frecuencia, a corto plazo (1 a 4 días) el sistema explica un 0,98%, a mediano plazo (5 a 20 días) un 3,85%, y a largo plazo (más de 20 días) un 55,94%. De acuerdo con los resultados, es posible concluir que la conectividad es más alta a largo que a corto plazo.

A corto plazo, la mayor contribución al sistema la producen USGBI (0,22%) y USBI (0,21%), ello probablemente porque ambos representan parte del mismo mercado de renta fija; mientras que la volatilidad del mercado medida por VIX (0,21%) y VSTOXX (0,20%) contribuye de manera importante al sistema. A mediano plazo, USBI (1,00%) y USGBI (0,83%) contribuyen con mayor magnitud al sistema, mientras que VSTOXX (0,72%) y VIX (0,57%) también lo hacen en una importante cuantía. En este caso es posible apreciar que el indicador del mercado europeo contribuye con mayor cuantía, lo que estaría principalmente explicado por el periodo de análisis que considera el conflicto Rusia-Ucrania. A largo plazo, OVX (12,45%) y GVZ (11,25%) son los que más contribuyen al sistema. OVX se explicaría por los cambios en el mercado energético y la competitividad de energías renovables, que puede relacionarse con el

mercado de bonos verdes. A largo plazo, también VSTOXX (8,30%) tiene una conectividad mayor en el sistema que VIX (6,70%), lo que puede estar relacionado con el contexto del periodo de estudio.

La [Tabla 3](#) muestra los resultados para la conectividad neta. Los resultados muestran que, de acuerdo con [DY \(2012\)](#), existe un efecto positivo neto de VIX y VSTOXX al sistema y, por tanto, son transmisores netos. El resto de los mercados, específicamente USBI y USGBI, muestran un efecto neto negativo, con mayor cuantía negativa para los bonos tradicionales. Esto implicaría que los

instrumentos verdes son menormente receptores de la volatilidad del mercado que los tradicionales. Para [BK \(2018\)](#) a corto plazo USBI tiene recepción neta positiva, mientras que USGBI tiene recepción neta negativa; no obstante lo anterior, los valores de ambos son muy cercanos a cero. A mediano y largo plazo, tanto USBI como USGBI son receptores netos de la volatilidad de los mercados, aunque, al igual que en [DY \(2012\)](#), los activos no verdes muestran ser mayormente receptores que los activos verdes dentro del sistema.

Tabla 2. Resultados [DY \(2012\)](#) y [BK \(2018\)](#).

<i>Spillover DY (2012)</i>								
	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX	FROM	
USBI	33,22	23,45	20,08	0,18	4,38	18,68	11,13	
USGBI	22,56	53,47	10,19	0,19	1,17	12,41	7,75	
VIX	0,69	0,11	51,39	0,94	9,41	37,46	8,1	
OVX	2,35	0,09	34,95	22,68	8,88	31,05	12,89	
GVZ	0,33	0,6	36,57	0,72	29,99	31,79	11,67	
VSTOXX	0,54	0,2	43,91	1,01	9,72	44,63	9,23	
TO	4,41	4,07	24,28	0,51	5,59	21,9	60,77	
<i>Spillover BK (2018)</i>								
Frecuencia a corto plazo: banda de 3,14 a 0,79 correspondiente a 1 a 4 días								
	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX	FROM_ABS	FROM_WTH
USBI	3,31	1,15	0,05	0,03	0,03	0,01	0,21	6,17
USGBI	1,3	3,44	0,02	0,01	0,01	0,01	0,22	6,51
VIX	0,02	0,01	1,77	0,15	0,32	0,78	0,21	6,25
OVX	0,01	0	0,12	3,18	0,07	0,11	0,05	1,55
GVZ	0,03	0,02	0,17	0,06	1,53	0,16	0,07	2,1
VSTOXX	0,02	0,01	0,75	0,14	0,31	1,49	0,2	5,97
TO_ABS	0,23	0,2	0,19	0,06	0,12	0,18	0,98	
TO_WTH	6,67	5,82	5,41	1,87	3,61	5,17		28,55
Frecuencia a mediano plazo: banda de 0,79 a 0,31 correspondiente a 5 a 20 días								
	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX	FROM_ABS	FROM_WTH
USBI	9,84	4,58	0,51	0,1	0,33	0,46	1	9,54
USGBI	4,3	10,3	0,19	0,03	0,08	0,37	0,83	7,95
VIX	0,12	0,04	3,53	0,24	0,99	2,01	0,57	5,43
OVX	0,48	0,01	0,67	7,89	0,36	0,76	0,38	3,66
GVZ	0,11	0,08	0,91	0,13	4,19	0,89	0,35	3,37
VSTOXX	0,1	0,07	2,67	0,32	1,17	3,79	0,72	6,91
TO_ABS	0,85	0,79	0,83	0,14	0,49	0,75	3,85	
TO_WTH	8,16	7,61	7,92	1,31	4,68	7,18		36,86
Frecuencia a largo plazo: banda de 0,31 a 0,00 correspondiente a más de 20 días								
	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX	FROM_ABS	FROM_WTH
USBI	20,07	17,72	19,53	0,06	4,02	18,21	9,92	11,52
USGBI	16,96	39,73	9,98	0,15	1,08	12,04	6,7	7,78
VIX	0,55	0,06	46,09	0,54	8,1	34,67	7,32	8,5
OVX	1,86	0,07	34,15	11,62	8,44	30,18	12,45	14,46
GVZ	0,2	0,5	35,49	0,53	24,26	30,74	11,25	13,06
VSTOXX	0,42	0,12	40,48	0,55	8,24	39,35	8,3	9,64
TO_ABS	3,33	3,08	23,27	0,31	4,98	20,97	55,94	
TO_WTH	3,87	3,58	27,02	0,35	5,78	24,35		64,95

Fuente: elaboración propia.

La **Figura 3** muestra los gráficos de red de conectividad a través de grafos para **DY (2012)** y las diferentes frecuencias de **BK (2018)**. Los resultados muestran en gris a los mercados financieros que son transmisores netos y en amarillo a aquellos que son receptores netos de los impactos del sistema. Gráficamente, se ratifica que para **DY (2012)** los transmisores son VIX y STOXX. Esta situación solo cambia para **BK (2018)** a corto plazo; se observa que la volatilidad del mercado estadounidense y europeo son receptores de volatilidad del resto de los mercados en el sistema.

La **Tabla 4** muestra los resultados de conectividad por pares. Este enfoque se utiliza para capturar la relación que existe entre las series y la conectividad neta por pares entre todas las variables del sistema. Por practicidad se presentan solo los resultados de la conectividad de bonos verdes (USGBI) y no verdes (USBI) frente al resto de los indicadores utilizados como control, tomando en consideración que el foco del análisis es comprender las diferencias entre este tipo de activos. La relación entre USBI-USGBI es positiva, a excepción de la medición de corto plazo. Esta situación es esperable, puesto que ambos tipos de activos comparten el mismo mercado de renta fija.

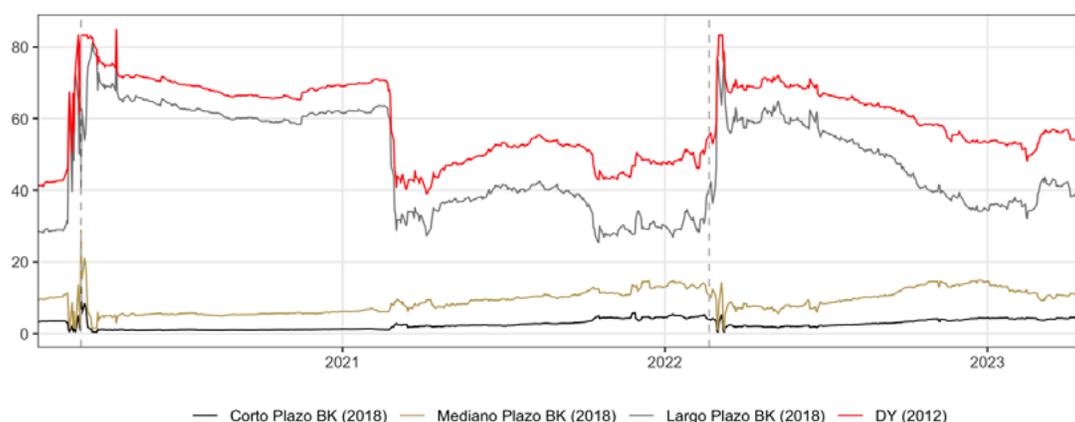


Figura 2. Spillover total **DY (2012)** y **BK (2018)** de corto, mediano y largo plazo.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Spillover neto (net).

DY (2012)						
	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX
	-6,716	-3,680	16,181	-12,380	-6,076	12,672
BK (2018)						
Frecuencia a corto plazo	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX
	0,017	-0,024	-0,029	0,011	0,052	-0,028
Frecuencia a mediano plazo	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX
	-0,144	-0,035	0,260	-0,245	0,137	0,028
Frecuencia a largo plazo	USBI	USGBI	VIX	OVX	GVZ	VSTOXX
	-6,589	-3,621	15,950	-12,146	-6,265	12,671

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Spillover por pares (pairwise).

DY (2012)									
	USBI-USGBI	USBI-VIX	USBI-OVX	USBI-GVZ	USBI-VSTOXX	USGBI-VIX	USGBI-OVX	USGBI-GVZ	USGBI-VSTOXX
	0,148	3,232	-0,362	0,675	3,023	1,680	0,017	0,096	2,036
BK (2018)									
Frecuencia a corto plazo	USBI-USGBI	USBI-VIX	USBI-OVX	USBI-GVZ	USBI-VSTOXX	USGBI-VIX	USGBI-OVX	USGBI-GVZ	USGBI-VSTOXX
	-0,024	0,004	0,003	0,001	-0,002	0,001	0,000	-0,001	-0,001
Frecuencia a mediano plazo	USBI-USGBI	USBI-VIX	USBI-OVX	USBI-GVZ	USBI-VSTOXX	USGBI-VIX	USGBI-OVX	USGBI-GVZ	USGBI-VSTOXX
	0,045	0,065	-0,064	0,038	0,061	0,026	0,003	0,001	0,050
Frecuencia a largo plazo	USBI-USGBI	USBI-VIX	USBI-OVX	USBI-GVZ	USBI-VSTOXX	USGBI-VIX	USGBI-OVX	USGBI-GVZ	USGBI-VSTOXX
	0,127	3,163	-0,301	0,636	2,964	1,653	0,014	0,096	1,986

Fuente: elaboración propia.

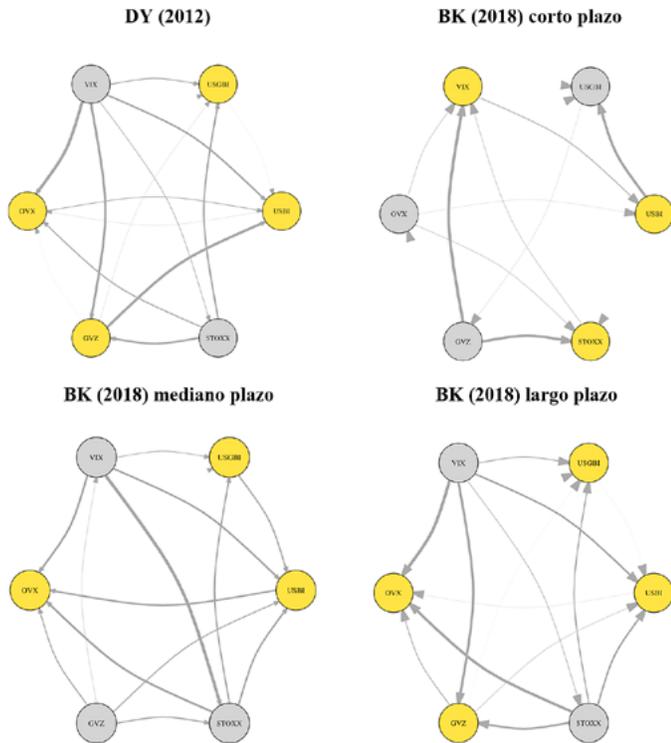


Figura 3. Grafos *spillover total* DY (2012) y BK (2018) de corto, mediano y largo plazo.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en cuanto a la volatilidad del mercado, VIX muestra un efecto de conectividad positivo con ambos tipos de instrumentos, aunque para los bonos verdes es menor, lo que implicaría que estos son menos volátiles que los bonos tradicionales. Para el caso de VSTOXX, también existe una relación de conectividad positiva y mayor para los bonos tradicionales. Es interesante que los activos verdes tienen una mayor conectividad con la volatilidad del mercado europeo que el estadounidense, lo que puede estar relacionado con los mercados energéticos. En el caso de OVX, existe conectividad negativa con los bonos no verdes y positiva con los bonos verdes, lo que es lógico si se considera que los instrumentos verdes pueden estar relacionados con las expectativas sobre el mercado energético y este está relacionado con los precios del petróleo. Finalmente, sobre la relación con GVZ, en el caso de los bonos verdes es cercana a cero, mientras que en el caso de bonos tradicionales es de cuantía mayor. Considerando que el oro es un activo de resguardo, existe una menor relación con la volatilidad de este metal sobre los instrumentos verdes que sobre los tradicionales.

5. Conclusiones

Esta investigación tuvo por objetivo analizar los efectos *spillover* de la volatilidad entre el mercado de bonos verdes y no verdes estadounidense y la volatilidad de los mercados internacionales en el periodo comprendido entre el 2018 y el 2023. El desarrollo de este trabajo profundiza en el estudio de la volatilidad de bonos verdes y no verdes, y contribuye

de manera tal que permite comprender el comportamiento del mercado financiero verde. Esto es de suma relevancia para el desarrollo de iniciativas socialmente responsables y positivas para el medioambiente, en un momento de incertidumbre producto del cambio climático. Este trabajo ayuda también a profundizar en la volatilidad en los mercados de bonos verdes y la conectividad que existe con los mercados tradicionales de bonos y otros indicadores de volatilidad del mercado internacional.

Los resultados muestran que a corto y mediano plazo existen bastantes similitudes en el comportamiento de bonos verdes y tradicionales, sobre todo porque comparten un mercado común. Sin embargo, a largo plazo se producen algunas diferencias interesantes que considerar en la formulación de políticas y diversificación de carteras. A partir de los resultados, es posible notar que el mercado del petróleo contribuye a la conectividad de manera importante, situación similar a la observada por [Marín-Rodríguez et al. \(2023\)](#). Este resultado fue concordante además con lo planteado por [Doğan et al. \(2023\)](#), [Koçak et al. \(2022\)](#) y [Tang et al. \(2023\)](#), quienes mostraron que los precios del petróleo y los mercados verdes se encuentran relacionados significativamente. Por su parte, este trabajo profundiza en comprender la interconexión de volatilidad entre el petróleo y los bonos verdes, lo que es útil en la formulación de políticas para mitigar la volatilidad de este mercado considerando su impacto en este tipo de activo financiero verde.

Además, los resultados muestran que todo lo anterior puede ser agudizado por conflictos geopolíticos relacionados directamente con el mercado de energía, lo que también ha sido explorado por autores como [Tian et al. \(2022\)](#). Los resultados muestran la relación entre actos geopolíticos y la política económica, relación que también se presenta en trabajos empíricos como los desarrollados por [Tang et al. \(2023\)](#) y [Naeem et al. \(2022\)](#). En general, es posible notar que, a largo plazo, ambos tipos de bonos son receptores, pero los bonos verdes son receptores de volatilidad en menor medida que los tradicionales o no verdes, lo que implica un resultado interesante para considerar en la diversificación de carteras.

Los principales hallazgos se pueden resumir en dos líneas. Primero, se incorporan medidas de incertidumbre en la comprensión del mercado de bonos verdes, tal como sugieren los trabajos del área, toda vez que esta situación ha sido menos explorada en la literatura [[Gozgor y Karakas, 2023](#)]. Segundo, se profundiza en la volatilidad de este tipo de bonos, como sugieren los trabajos empíricos, y se considera que los bonos verdes tienen un comportamiento diferenciado a los tradicionales [[Xia et al., 2022](#)]. Los resultados empíricos muestran que existe una conexión entre el mercado de bonos verdes y la incertidumbre de los mercados internacionales. El resultado es concordante con lo planteado por [Elsayed et al. \(2022\)](#); sin embargo, este trabajo profundiza en tres aspectos: se incorpora la volatilidad; se estudia la relación con la incertidumbre de los mercados, y no solo con el rendimiento de mercados

financieros; y se proporciona evidencia del comportamiento en el corto, mediano y largo plazo.

Los resultados de este trabajo son útiles tanto para inversores como para formuladores de política proambientales. En primer lugar, se muestra que los bonos verdes son una opción de diversificación de riesgo frente a bonos tradicionales. En segundo lugar, la evidencia muestra a los formuladores la importancia de la generación de estrategias que promuevan los bonos verdes como una opción beneficiosa para inversores. Todo esto considerando su respuesta a contextos de volatilidad y comportamiento frente a la incertidumbre, y el beneficio que pueden entregar a futuro para el desarrollo de proyectos sostenibles y amigables con el medioambiente.

El alcance de estos resultados se relaciona con la comprensión del comportamiento de bonos verdes y no verdes frente a escenarios de incertidumbre. La contribución principal del trabajo permite profundizar en la comprensión de la interacción de estos activos financieros con los mercados internacionales, lo que tiene implicancias en la gestión de riesgos, toma de decisiones financieras y la diversificación de activos. Algunas limitaciones y que pueden abordarse como futuros trabajos serían explorar con mayor precisión diferentes mercados de bonos verdes; por ejemplo, realizar comparaciones entre el mercado norteamericano, europeo y otros mercados emergentes. También, futuros trabajos podrían analizar medidas de conectividad condicional entre los mercados internacionales y los bonos verdes y no verdes, lo que proporcionaría una comprensión más detallada de la dinámica de la volatilidad en este tipo de activos financieros.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Abdullah, M., Chowdhury, M. A. F. y Sulong, Z. (2023). Asymmetric efficiency and connectedness among green stocks, halal tourism stocks, cryptocurrencies, and commodities: Portfolio hedging implications. *Resources Policy*, 81, 103419. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103419>
- Baruník, J. y Křehlík, T. (2018). Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk. *Journal of Financial Econometrics*, 16(2), 271-296. <https://doi.org/10.1093/jffinec/nby001>
- Cagli, E. C., Taşkın, D. y Evrim Mandacı, P. (2022). The role of uncertainties on sustainable stocks and green bonds. *Qualitative Research in Financial Markets*, ahead-of-print[ahead-of-print]. <https://doi.org/10.1108/QRFM-02-2022-0032>
- Diebold, F. X. y Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>
- Doğan, B., Trabelsi, N., Tiwari, A. K. y Ghosh, S. (2023). Dynamic dependence and causality between crude oil, green bonds, commodities, geopolitical risks, and policy uncertainty. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 89, 36-62. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2023.02.006>

- Elsayed, A. H., Naifar, N., Nasreen, S. y Tiwari, A. K. (2022). Dependence structure and dynamic connectedness between green bonds and financial markets: Fresh insights from time-frequency analysis before and during COVID-19 pandemic. *Energy Economics*, 107, 105842. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105842>
- Feng, Q., Sun, X., Liu, C. y Li, J. (2021). Spillovers between sovereign CDS and exchange rate markets: The role of market fear. *The North American Journal of Economics and Finance*, 55, 101308. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2020.101308>
- Flammer, C. (2021). Corporate green bonds. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 499-516. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- Gozgor, K. y Karakas, M. (2023). How do global financial markets affect the green bond markets? Evidence from different estimation techniques. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, 36(2), 2177703. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2023.2177703>
- Han, Y. y Li, J. (2022). Should investors include green bonds in their portfolios? Evidence for the USA and Europe. *International Review of Financial Analysis*, 80, 101998. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101998>
- Henríquez, E. M. y Gálvez-Gamboa, F. (2022). Efecto de la incertidumbre de la política económica internacional sobre los mercados financieros latinoamericanos. *Estudios Gerenciales*, 519-528. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2022.165.5383>
- Khalfaoui, R., Ben Jabeur, S. y Dogan, B. (2022). The spillover effects and connectedness among green commodities, Bitcoins, and US stock markets: Evidence from the quantile VAR network. *Journal of Environmental Management*, 306, 114493. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114493>
- Koçak, E., Bulut, U. y Menegaki, A. N. (2022). The resilience of green firms in the twirl of COVID-19: Evidence from S&P500 Carbon Efficiency Index with a Fourier approach. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 32-45. <https://doi.org/10.1002/bse.2872>
- Li, Z., Tang, Y., Wu, J., Zhang, J. y Lv, Q. (2020). The interest costs of green bonds: Credit ratings, corporate social responsibility, and certification. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(12), 2679-2692. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1548350>
- Liu, M. (2022). The driving forces of green bond market volatility and the response of the market to the COVID-19 pandemic. *Economic Analysis and Policy*, 75, 288-309. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.05.012>
- Liu, Z., Tseng, H.-K., Wu, J. S. y Ding, Z. (2020). Implied volatility relationships between crude oil and the U.S. stock markets: Dynamic correlation and spillover effects. *Resources Policy*, 66, 101637. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101637>
- Marín-Rodríguez, N. J., González-Ruiz, J. D. y Botero, S. (2023). A wavelet analysis of the dynamic connectedness among oil prices, green bonds, and CO2 emissions. *Risks*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/risks11010015>
- Mensi, W., Shafiullah, M., Vo, X. V. y Kang, S. H. (2022). Spillovers and connectedness between green bond and stock markets in bearish and bullish market scenarios. *Finance Research Letters*, 49, 103120. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103120>
- Naeem, M. A., Conlon, T. y Cotter, J. (2022). Green bonds and other assets: Evidence from extreme risk transmission. *Journal of Environmental Management*, 305, 114358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114358>
- Nguyen, T. T. H., Naeem, M. A., Balli, F., Balli, H. O. y 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>
- Pham, L. y Do, H. X. (2022). Green bonds and implied volatilities: Dynamic causality, spillovers, and implications for portfolio management. *Energy Economics*, 112, 106106. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106106>
- Pham, L., Hao, W., Truong, H. y Trinh, H. H. (2023). The impact of climate policy on U.S. environmentally friendly firms: A firm-level examination of stock return, volatility, volume, and connectedness. *Energy Economics*, 119, 106564. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106564>

- Qi, X. y Zhang, G. (2022). Dynamic connectedness of China's green bonds and asset classes. *The North American Journal of Economics and Finance*, 63, 101842. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101842>
- 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>
- Reboredo, J. C. y 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>
- Su, T. y Lin, B. (2022). The liquidity impact of Chinese green bonds spreads. *International Review of Economics & Finance*, 82, 318-334. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2022.06.019>
- Su, T., Zhang, Z. y Lin, B. (2022). Green bonds and conventional financial markets in China: A tale of three transmission modes. *Energy Economics*, 113, 106200. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106200>
- Tang, Y., Chen, X. H., Sarker, P. K. y Baroudi, S. (2023). Asymmetric effects of geopolitical risks and uncertainties on green bond markets. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122348. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122348>
- Tian, H., Long, S. y Li, Z. (2022). Asymmetric effects of climate policy uncertainty, infectious diseases-related uncertainty, crude oil volatility, and geopolitical risks on green bond prices. *Finance Research Letters*, 48, 103008. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103008>
- Wang, X., Li, J. y Ren, X. (2022). Asymmetric causality of economic policy uncertainty and oil volatility index on time-varying nexus of the clean energy, carbon and green bond. *International Review of Financial Analysis*, 83, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102306>
- Xia, Y., Ren, H., Li, Y., Xia, J., He, L. y Liu, N. (2022). Forecasting green bond volatility via novel heterogeneous ensemble approaches. *Expert Systems with Applications*, 204, 117580. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117580>
- Yahya, F., Abbas, G. y Lee, C.-C. (2023). Asymmetric effects and volatility transmission from metals markets to solar energy stocks: Evidence from DCC, ADCC, and quantile regression approach. *Resources Policy*, 82, 103501. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103501>