Impacto de la sostenibilidad en el desempeño bursátil de compañías colombianas incluidas en el DJSI: aplicación de la Coherencia de *Wavelet*, 2013-2024

Autor: Angela María Herrera Correa[1]

Asesor: Nini Johana Marín Rodríguez[2]

Resumen

El estudio analiza la relación dinámica entre los precios de las acciones de empresas colombianas incluidas en el *Dow Jones Sustainability Index* (DJSI), reconocido por sus criterios ASG (Ambiental, Social y de Gobernanza), y otras no pertenecientes a este índice. Utilizando la metodología de coherencia de *Wavelet*, se evalúan los efectos en diferentes horizontes temporales entre enero de 2013 y agosto de 2024. Los resultados evidencian que las compañías más alineadas con prácticas sostenibles presentan correlaciones más fuertes y estables con el índice, especialmente a mediano y largo plazo, mientras que las menos sostenibles muestran relaciones más débiles y volátiles, como durante la pandemia de COVID-19. El análisis contribuye a la literatura sobre mercados emergentes, destacando similitudes con mercados desarrollados y desafíos regulatorios únicos. Se concluye que las políticas ASG fortalecen el valor a largo plazo y optimizan los retornos ajustados al riesgo. Se recomienda incentivar criterios ASG desde la regulación, promover estrategias sostenibles en las empresas y diversificar inversiones hacia compañías con alto compromiso ASG.

Abstract

The study examines the dynamic relationship between the stock prices of Colombian companies included in the *Dow Jones Sustainability Index* (DJSI), known for its ESG (Environmental, Social, and Governance) criteria, and those not part of the index. Using the *Wavelet* coherence methodology, the analysis evaluates effects across different time horizons from January 2013 to August 2024. The findings reveal that companies more aligned with sustainable practices exhibit stronger and more stable correlations with the index, particularly in the medium and long term, while less sustainable companies show weaker and more volatile relationships, especially during periods such as the COVID-19 pandemic. The study contributes to the literature on emerging markets, highlighting similarities with developed markets and unique regulatory challenges. It concludes that ESG policies enhance long-term value and optimize risk-adjusted returns. Recommendations include promoting ESG criteria through regulatory incentives, encouraging sustainable strategies within companies, and diversifying investments towards firms with a strong ESG commitment.

Keywords: ESG, *Wavelet* coherence, performance, correlation, stock returns, Colombian market.

---

[1] Estudiante de la Maestría en Finanzas, Universidad de Medellín

[2] Asesor, Profesora Titular, Universidad de Medellín

1. Introducción

Después de la pandemia de COVID-19, los criterios ESG ASG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza), en adelante ESG (por sus siglas en inglés de *Environmental, Social, and Governance*), han ganado una importancia sin precedentes en los ámbitos empresarial, financiero y social, especialmente a partir de 2021. Los criterios ESG cobraron relevancia después de la pandemia de COVID-19 porque la crisis sanitaria aumentó la conciencia social y ambiental entre inversionistas y empresas. La incertidumbre económica llevó a los inversores a priorizar prácticas sostenibles y responsables, reduciendo riesgos y considerando impactos sociales y ambientales en sus decisiones. Además, las empresas adoptaron políticas más alineadas con la sostenibilidad para mejorar su resiliencia y reputación. El análisis de índices ESG durante la pandemia muestra un crecimiento en este tipo de inversiones, indicando un cambio estructural en la manera en que los mercados financieros valoran la responsabilidad corporativa (Vicente-Ortega & Díaz Aguiluz,2021).

Lo que una vez fue considerado principalmente un asunto ético ahora se ha vuelto un imperativo estratégico tanto para empresas como para inversionistas (Rezaee, 2017). Esta evolución se manifiesta en la creciente adopción de prácticas sostenibles por parte de las compañías, el surgimiento de índices ESG en los mercados financieros y la presión de los consumidores y la sociedad para promover la responsabilidad empresarial.

La integración de los criterios ESG, en busca de mejorar el desempeño financiero y contribuir a un mundo más sostenible, se ha vuelto un tema central en la toma de decisiones de inversión. Estos criterios evalúan las mejores prácticas empresariales en términos ambientales, sociales y de gobierno, siendo cruciales para los inversionistas que buscan rendimientos financieros junto con un impacto positivo en el bienestar y la sostenibilidad del planeta (Ulrich, 2016). A pesar del creciente reconocimiento de la importancia de la sostenibilidad a nivel social y empresarial, persiste un vacío en la comprensión del impacto de los criterios ESG en el desempeño bursátil de las empresas en economías emergentes como Colombia. Esta falta de análisis específico subraya la necesidad de investigaciones que aborden este tema (Albanés, 2022).

La relevancia de esta investigación se fundamenta en varios factores. En primer lugar, el aumento del interés global hacia la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa, impulsado por eventos como el cambio climático y crisis humanitarias (Ulrich, 2016), ha generado una mayor demanda de productos de inversión sostenible y la creación de índices ESG en los mercados financieros. Además, las regulaciones gubernamentales, los avances tecnológicos y las cambiantes demandas de los consumidores están moldeando la manera en que las empresas abordan la sostenibilidad.

En la economía colombiana, donde la sostenibilidad está adquiriendo relevancia, es esencial comprender cómo los criterios ESG pueden influir en el desempeño financiero de las empresas. Investigaciones previas indican que algunas empresas ven la sostenibilidad como una estrategia para obtener ventaja competitiva, mientras que otras la consideran una parte integral de sus operaciones (Ioannou & Serafeim, 2019). Por lo tanto, entender cómo estas prácticas afectan al mercado colombiano puede tener implicaciones significativas para las estrategias empresariales y la inversión sostenible en el país.

La necesidad de esta investigación se ve respaldada por datos recientes que indican un cambio en la percepción de la inversión sostenible y sus rendimientos, como lo demuestra el cierre de fondos sostenibles en Estados Unidos debido a rendimientos "decepcionantes" para los inversionistas (Brush, 2023). Este escenario subraya la importancia de investigar y

comprender la relación entre las iniciativas ESG y el desempeño financiero de las empresas, y observar si tendrían un comportamiento similar o no en un país como Colombia.

Los estudios que investigan la relación entre los criterios ESG y el desempeño financiero han empleado diversas metodologías para comprender esta dinámica compleja en diferentes contextos geográficos y sectoriales. Por ejemplo, Yoon et al. (2018) en Corea utilizaron el Modelo de Valoración de Ohlson, el cual es una herramienta para evaluar el valor de mercado de una empresa basándose en información contable, como ganancias, dividendos y valores de activos, incorporando el desempeño de Responsabilidad Social Corporativa (CSR, por sus siglas en inglés de *Corporate Social Responsibility*) como una variable no financiera adicional en el modelo. Como resultado, los autores descubrieron un efecto positivo, especialmente en industrias menos sensibles al medio ambiente. Zhou et al. (2022) en China emplearon un modelo de regresión lineal para analizar cómo el desempeño ESG afecta el valor de mercado, encontrando mejoras especialmente significativas en empresas con controladores independientes del financiamiento estatal.

Aunque diversos estudios, como los realizados por Leite & Uysal (2023), Aydoğmuş et al. (2022) y Naeem et al. (2022), han abordado la relación entre calificación crediticia, puntajes ESG y valor de empresa utilizando metodologías específicas aplicados en diferentes países, esta propuesta se destaca por adoptar un enfoque de tiempo frecuencia, permitiendo una comprensión más amplia y detallada de esta dinámica de la sostenibilidad en el desempeño financiero de empresas colombianas.

Para abordar el desafío de las correlaciones espurias en el análisis causal del impacto de las políticas ESG sobre el rendimiento financiero empresarial, la metodología *Wavelet* se presenta como una solución robusta, permitiendo descomponer las relaciones entre variables en distintas escalas temporales y filtrando efectos espurios derivados de fluctuaciones externas. A diferencia de los métodos tradicionales, el análisis *Wavelet* identifica patrones de dependencia persistentes y distingue relaciones estructurales de correlaciones transitorias o espurias, reduciendo así la influencia de eventos exógenos que podrían sesgar las conclusiones. Además, su capacidad para evaluar causalidad en diferentes frecuencias permite detectar si los efectos de las políticas ESG sobre el desempeño financiero son consistentes a lo largo del tiempo o si responden a coyunturas específicas (Leong & Huang, 2010).

Por lo anterior, este estudio emplea la metodología de Coherencia de *Wavelet*, una de sus principales ventajas es su capacidad para examinar simultáneamente tanto la frecuencia como el dominio temporal de las series de tiempo. A diferencia del Análisis de Fourier tradicional, que se centra en el dominio de frecuencia, la Coherencia de *Wavelet* resulta más adecuada para series de tiempo con propiedades estadísticas estables, es decir, series estacionarias. Sin embargo, en el ámbito de las series temporales económicas, es común encontrar datos ruidosos, complejos y fuertemente no estacionarios, lo que hace que las técnicas de Fourier no sean suficientes para capturar la variabilidad y la dinámica subyacente en estos datos (Bouri et al., 2020; Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Valencia-Arias, 2023; Marín-Rodríguez et al. 2024; Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Botero 2023).

El estudio prevé importantes contribuciones en diversos ámbitos. En primer lugar, los resultados serán de gran utilidad para los inversionistas al proporcionar una comprensión más profunda de cómo las prácticas ESG pueden influir en el desempeño financiero de las compañías colombianas, permitiéndoles tomar decisiones más informadas al construir sus portafolios. En segundo lugar, los empresarios se beneficiarán al diseñar estrategias que no solo satisfagan las expectativas del mercado, sino que se alineen a los valores éticos de sus *stakeholders*. Finalmente, el estudio ofrecerá información tanto para reguladores, en su diseño

de políticas para promover en mayor medida la divulgación e implementación de la sostenibilidad en las compañías, como para las compañías que buscan aumentar su competitividad, sostenibilidad y rentabilidad en este cambiante entorno.

El objetivo de este estudio es analizar la relación dinámica entre los precios de las acciones de empresas colombianas incluidas en el *Dow Jones Sustainability Index* (en adelante, DJSI)—Bancolombia, Grupo Sura, Grupo Nutresa, Cementos Argos y Grupo Argos—y aquellas que, aunque no forman parte de este índice, están incluidas en el COLCAP, como Grupo Aval, Canacol, Promigas, Mineros y Terpel. Para ello, se empleará la metodología de coherencia de *Wavelet*, que permite evaluar los efectos de esta relación en diferentes horizontes temporales (corto, mediano y largo plazo) durante el periodo comprendido entre enero de 2013 y agosto de 2024.

Adicionalmente, esta investigación busca responder a preguntas clave que abordan la relevancia de las prácticas ESG en el mercado colombiano. En primer lugar, se indagará si las teorías desarrolladas en mercados avanzados, donde se ha demostrado que las prácticas ESG mejoran el rendimiento financiero y la resiliencia empresarial, son igualmente aplicables en mercados emergentes como el colombiano, que presentan menor liquidez, acceso limitado a información y mayores niveles de volatilidad. En segundo lugar, se analizará si el mercado colombiano recompensa a las compañías por sus esfuerzos en sostenibilidad, lo que podría tener implicaciones en sus estrategias de inversión y en la percepción de los inversionistas locales e internacionales. Finalmente, se estudiará si el impacto de las prácticas ESG es más significativo en períodos específicos o bajo determinadas condiciones económicas, lo cual podría ofrecer claridad sobre cómo y cuándo estas estrategias generan mayor valor.

Conocer las respuestas a estas preguntas permitirá comprender mejor la interacción entre sostenibilidad y desempeño financiero en un entorno emergente. Esto aportará a compañías, inversionistas, reguladores y académicos al evaluar el potencial de las estrategias ESG para generar valor financiero y social en Colombia. Además, los resultados contribuirán a determinar si es necesario adaptar las teorías y prácticas de mercados desarrollados a las particularidades locales, ofreciendo una base sólida para el diseño de políticas, estrategias empresariales y marcos teóricos más adecuados al contexto colombiano.

El artículo se divide en cuatro secciones principales. La primera sección proporciona una revisión de la literatura existente y se abordan las contribuciones del estudio. La segunda sección describe la metodología utilizada, centrada en la coherencia de *Wavelet* para analizar la relación entre los precios de las acciones y la adopción de aspectos ESG por parte de empresas colombianas. La tercera sección presenta los resultados del análisis y su discusión, incluyendo la comparación del desempeño de empresas con y sin prácticas ESG. La cuarta sección concluye el estudio, resumiendo los hallazgos clave y destacando factores adicionales que pueden influir en los precios de las acciones en Colombia. Finalmente, se presentarán las principales conclusiones y recomendaciones.

2. Antecedentes y Revisión de Literatura

2.1. Antecedentes de la problemática

En los últimos años, la integración de la sostenibilidad en los mercados financieros ha cobrado una relevancia, atrayendo la atención de académicos, reguladores e inversionistas. Este creciente interés radica en la percepción de que las prácticas ESG no solo promueven un impacto positivo en términos ambientales y sociales, sino que también pueden generar valor financiero a largo plazo para las compañías que las adoptan. La necesidad de esta investigación se ve respaldada por datos recientes que indican un cambio en la percepción de la inversión sostenible y sus rendimientos. Si bien en algunos casos, como el cierre de

ciertos fondos sostenibles en Estados Unidos debido a rendimientos considerados 'decepcionantes' por los inversionistas, se ha cuestionado su desempeño, otros estudios han encontrado efectos positivos bajo condiciones específicas de mercado, particularmente en economías desarrolladas y en contextos de alta volatilidad.

A pesar del éxito de las prácticas ESG en mercados desarrollados, su implementación y efectividad en mercados emergentes, como el colombiano, enfrenta desafíos significativos. El menor desarrollo de los mercados financieros, la baja liquidez y el acceso limitado a información confiable complican la evaluación y adopción de estos factores. En mercados emergentes, la volatilidad juega un papel clave en la respuesta del mercado a las estrategias ESG, lo que puede influir en cómo se premia o penaliza a las compañías que las implementan. Mientras que en mercados desarrollados el impacto positivo de las prácticas ESG en la rentabilidad y la gestión del riesgo está bien documentado, investigaciones como las de Esparcia & Gubareva, (2024) señalan que los resultados en mercados emergentes pueden variar considerablemente debido a las condiciones macroeconómicas y a las particularidades del entorno local. Por lo tanto, es fundamental adaptar el enfoque y la evaluación de las estrategias ESG en mercados como el colombiano para reflejar sus realidades específicas y evitar asumir que los mismos resultados observados en economías avanzadas se replicarán automáticamente.

Adicionalmente, investigaciones como la de Jareño et al., (2024) muestran que las calificaciones ESG no solo afectan el rendimiento de las acciones de manera positiva, sino que también aumentan la exposición al riesgo, especialmente en momentos de alta volatilidad. En Colombia, donde el sector energético y los *commodities* juegan un rol central en la economía, el impacto de las prácticas ESG podría estar fuertemente influenciado por factores externos como los precios internacionales del petróleo. Esto sugiere que el mercado colombiano podría no seguir los mismos patrones observados en mercados más desarrollados, donde las prácticas ESG ya están integradas en las decisiones de inversión de manera más generalizada.

Finalmente, estudios que exploran el papel de los factores ESG durante crisis globales, como el de Ahad et al., (2024), destacan el uso de estas inversiones como refugios seguros en mercados más desarrollados, como el europeo. Sin embargo, en un país como Colombia, la menor madurez de los mercados y la falta de políticas regulatorias robustas limitan la aplicabilidad directa de estas estrategias, lo que demanda un enfoque adaptado a las realidades de los mercados emergentes. Ante este panorama, se hace evidente la necesidad de realizar análisis más específicos que consideren las particularidades del mercado colombiano, con el fin de evaluar cómo y en qué condiciones las prácticas ESG pueden generar valor financiero y social en este contexto.

2.2. Análisis bibliométrico de la literatura existente

La revisión de literatura tradicional, a pesar de sus esfuerzos, no ha logrado ofrecer una imagen completa sobre el impacto de la sostenibilidad en el desempeño financiero de las empresas. La cuestión de la compatibilidad entre dichos conceptos ha sido objeto de debate durante más de 40 años. Por lo tanto, esta revisión empleó dos herramientas novedosas para identificar estudios relevantes y así obtener una comprensión más profunda de esta investigación (Friede et al., 2015b).

La cienciometría se refiere al empleo de métodos cuantitativos para analizar la actividad de investigación en el ámbito científico y académico. Esto implica el análisis de factores como la cantidad de trabajos publicados, las referencias cruzadas y la colaboración entre científicos. Su propósito principal es ofrecer indicadores objetivos que permitan medir la excelencia y la

influencia de la investigación, así como identificar patrones y direcciones en la producción científica (van Eck & Waltman, 2017).

Para esto, se emplearon las bases de datos académicas Scopus y Web of Science (WoS), haciendo uso de las palabras clave *Wavelet*, correlación o dependencia y sus determinantes. Esto permitió identificar estudios clave en este campo de investigación, así como los autores, instituciones, países y fuentes más destacadas sobre la relación entre la sostenibilidad y el desempeño financiero de las compañías, que una vez se eliminaron duplicados, la búsqueda se obtuvieron 73 estudios.

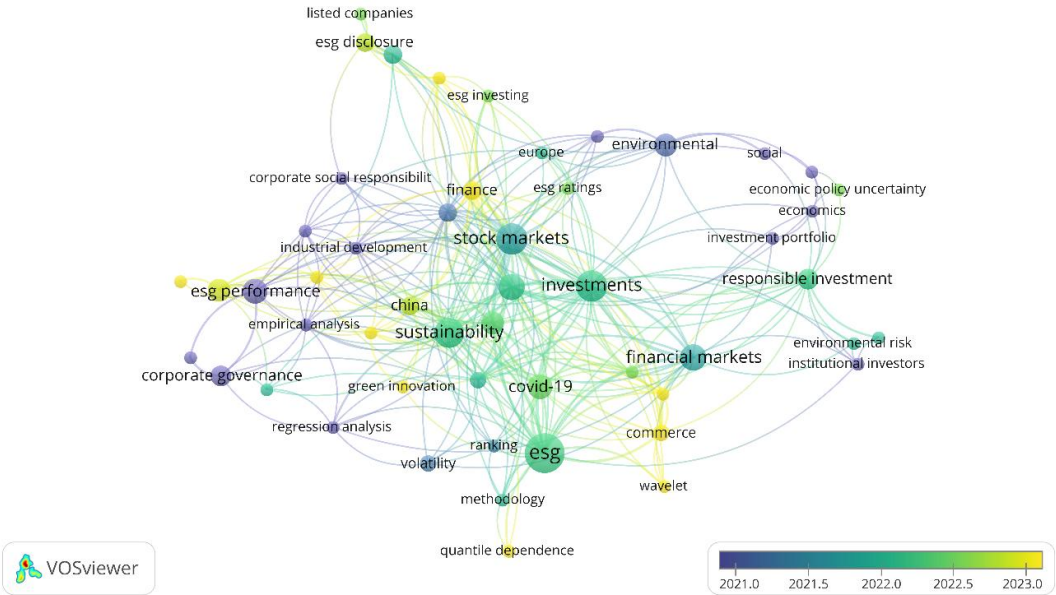
La Figura 1 ilustra el uso de herramientas visuales para analizar la investigación en torno a los criterios ESG. Los resultados destacan que el núcleo de estas investigaciones se sitúa en la intersección entre los criterios ESG y los mercados financieros, como lo evidencian términos clave como *ESG investing*, *stock markets*, *financial markets* e *investments*. Esto refleja un interés creciente en comprender cómo los factores ESG impactan tanto en las decisiones de inversión como en el desempeño del mercado.

Además, el análisis de series temporales basado en *Wavelet*s emerge como una metodología clave en este ámbito. La presencia de términos como *Wavelet*, *correlation* y *dependence* sugiere que estas herramientas están siendo utilizadas para identificar patrones en diferentes escalas temporales, lo que permite analizar la volatilidad del mercado y los cambios estructurales en las relaciones entre las variables ESG y financieras.

Los tres pilares fundamentales de los criterios ESG también están claramente representados. Términos como *environmental*, *social*, *corporate governance* y *sustainability* indican la diversidad de aspectos que se investigan bajo este marco, con un enfoque integral en la sostenibilidad. Por otro lado, la Figura 1 muestra que la investigación tiene un alcance global, con una atención especial en regiones como Europa y China, destacando la relevancia de estos mercados en los estudios relacionados con ESG. Sin embargo, se observa una notable ausencia de investigaciones aplicadas a países emergentes, especialmente en América Latina. En particular, la falta de análisis enfocados en Colombia resalta una brecha en la literatura, lo que subraya la necesidad de explorar cómo los factores ESG impactan en mercados emergentes con características y dinámicas económicas propias. Esto sugiere una oportunidad importante para ampliar el enfoque geográfico de los estudios y abordar economías que hasta ahora han sido menos explorados.

Finalmente, los resultados reflejan un enfoque significativo en las implicaciones prácticas de los criterios ESG. Los investigadores buscan comprender cómo estos factores afectan el desempeño financiero de las empresas, la volatilidad de los mercados y las decisiones de inversión, particularmente de los inversores institucionales.

Figura 1. *Co-ocurrencia de las palabras clave más frecuentes al utilizar la ecuación de búsqueda*



Fuente: Elaboración propia usando las bases de datos Scopus y *Web of Science* (WoS) y el software VOSviewer.

Además, se empleó el Árbol de la Ciencia (ToS, por sus siglas en inglés de *Tree of Science*) debido a que, según Robledo et al. (2014), las "raíces" del árbol representan los trabajos seminales que sentaron las bases para la investigación posterior. Así se indicó el estudio de Friede et al. (2015a), el primer esfuerzo para proporcionar certeza agregada basada en más de 2000 estudios empíricos desde la década de 1970, encontrando evidencia a favor de la inversión en ESG, contrastando con la percepción común entre inversionistas. Aunque los estudios de portafolios muestran una relación neutral o mixta, más de 2100 estudios sugirieron una relación positiva, especialmente en América del Norte. El autor concluyó que la inversión responsable a largo plazo es esencial para cumplir con los deberes fiduciarios e impulsar los objetivos sociales, enfatizando en la necesidad de integrar los criterios ESG en los procesos de inversión para aprovechar su potencial de mejora del valor.

Mientras que Nollet et al. (2015), Drempetic et al. (2020) y Engelhardt et al. (2021) aborda la relación entre sostenibilidad y desempeño financiero desde diferentes perspectivas, centrándose en la Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y la calificación ESG, respectivamente. Mientras que Nollet et al. (2015) se enfoca en el impacto de la RSC en el rendimiento financiero y destaca la importancia de gestionar sesgos de estilo en la inversión sostenible, Drempetic et al. (2020) analiza cómo el tamaño de la empresa influye en las calificaciones ESG y si estas reflejan adecuadamente la sostenibilidad corporativa. Por otro lado, Engelhardt et al. (2021) investiga si las empresas con calificaciones ESG más altas mostraron mayor resistencia durante la crisis de COVID-19, sugiriendo que la sólida práctica ESG puede mejorar la resiliencia empresarial frente a shocks externos.

Los tres estudios anteriores, reconocen la creciente importancia de la sostenibilidad en la toma de decisiones financieras y destacan la necesidad de investigar más a fondo la relación entre sostenibilidad y desempeño financiero en diferentes contextos. Además, todos sugieren que las empresas con mejores prácticas de sostenibilidad pueden generar valor a largo plazo para los inversionistas, ya sea mediante un mejor rendimiento financiero, una mayor resiliencia durante crisis o una gestión más efectiva de riesgos.

Sin embargo, difieren en cuanto a los aspectos específicos que examinan y las metodologías utilizadas. Nollet et al. (2015), se centra en la RSC y utiliza el modelo de Fama y French para ajustar por estilos, mientras que Drempetic et al. (2020) analiza las calificaciones ESG y su relación con el tamaño de la empresa. Por otro lado, Engelhardt et al. (2021) evalúa el desempeño durante la crisis de COVID-19 y utiliza datos de empresas europeas para examinar los efectos de la práctica ESG en un contexto específico de crisis.

2.3. Estudios con enfoque *Wavelet*

La metodología de *Wavelet*s se ha aplicado en diversas disciplinas, como física, geofísica, astronomía, ingeniería, epidemiología y procesamiento de señales, entre otras. A pesar de su potencial, su uso en economía ha sido menos común, aunque se han registrado excepciones en el campo de las finanzas (Aguiar-Conraria et al, 2008)

Las primeras implementaciones realizadas en el ámbito económico del enfoque de *Wavelet*s fueron para explicar conexiones entre varias variables macroeconómicas y el estudio de la co-movilidad de tasas de cambio durante la crisis asiática de 1997 (Ramsey & Zhang, 1997). En el campo financiero, los trabajos más recientes aplicaron el análisis de *Wavelet*s para evaluar la transmisión de volatilidad entre los principales mercados de valores desarrollados (Aloui & Hkiri, 2014).

Norsworthy et al. (2000) fueron pioneros al estimar el Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM) para emisores pertenecientes al Dow Jones aplicando el análisis de *Wavelet*s, concluyendo que filtrar o eliminar el ruido permite un análisis más preciso del comportamiento a largo plazo de los emisores.

Gallegati (2008) utilizó una transformada de *Wavelet*s discreta para analizar la relación entre los rendimientos de acciones y la actividad económica en distintas escalas de tiempo, encontrando que esta relación varía según el horizonte temporal. En escalas largas, de 16 meses o más, los rendimientos del mercado de valores tienden a liderar la producción. El estudio destacó el potencial de los *Wavelet*s para comprender las dinámicas de mercados financieros con agentes heterogéneos que operan en diferentes escalas temporales. Además, el avance en herramientas informáticas ha facilitado su aplicación, permitiendo un análisis más preciso y detallado de las series temporales.

Bouri et al., (2020) compararon las propiedades de refugio seguro de Bitcoin, oro e índices de productos básicos en relación con índices bursátiles globales, desarrollados, emergentes, de EE. UU. y chinos durante el período de 2010 a 2018, utilizando la coherencia de *Wavelet*. Encontraron que la dependencia entre estos activos y los mercados de valores no es fuerte en diversas escalas de tiempo, siendo Bitcoin el menos dependiente, lo que es útil para inversionistas que buscan activos para protegerse contra movimientos negativos extremos en los índices bursátiles, considerando los diferentes horizontes de inversión. En contraste, Kakinuma (2023) estudia la relación entre Bitcoin y acciones ESG, proponiendo una estrategia de inversión socialmente responsable para los inversionistas en criptomonedas. Utilizando también el análisis de *Wavelet*, encontró que la combinación de Bitcoin y acciones ESG puede reducir el riesgo de la cartera y ofrecer beneficios desde una perspectiva ambiental, destacando así el potencial de integrar criptomonedas con inversiones sostenibles.

Por su parte, Umar et al. (2021), en los resultados de su estudio sobre la relación de los índices de ESG y el Índice de Pánico por Coronavirus (PI), mostraron en su mayoría una alta correlación, lo que sugirió una fuerte conexión entre eventos sistémicos como la pandemia de COVID-19 y la volatilidad en los mercados financieros. Sin embargo, también identificaron momentos de baja correlación, lo que indicó que los índices de ESG pueden

ofrecer ciertos beneficios de diversificación y actuar como refugios potenciales durante crisis globales.

Kilic et al. (2022) también utilizan la metodología de coherencia de *Wavelet* para examinar las co-movimientos entre acciones convencionales y ESG, pero su enfoque es más amplio ya que estudian datos diarios de 19 países desarrollados y emergentes. Estos encontraron patrones significativos de co-movimientos entre las acciones ESG y convencionales, sugiriendo implicaciones para la diversificación de carteras. A diferencia de los estudios anteriores que se centran en un aspecto específico como la pandemia de COVID-19 o los shocks petroleros, Kilic et al. (2022) examinan la relación entre acciones convencionales y ESG en un contexto más general.

Andersson et al. (2022) investigan la relación causal entre carteras ESG y convencionales en diferentes escalas temporales, utilizando una metodología de descomposición de *Wavelet* multi-escala, encontrando una relación bidireccional significativa entre portafolios ESG y convencionales, así como una causalidad entre las carteras ESG y los retornos de divisas y materias primas, lo que tiene implicaciones importantes para la asignación de activos y estrategias de cobertura.

Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Valencia-Arias (2023) aplicaron el análisis *Wavelet* para explorar las relaciones entre el índice DJSI y los índices de volatilidad (*Cboe Volatility Index* y el *ICE BofA MOVE Index)*, evidenciando una correlación negativa entre el DJSI y los índices de volatilidad, con coeficientes de -33 % para el MOVE y -63 % para el VIX, lo que sugiere que una disminución en la sostenibilidad tiende a coincidir con un aumento en la volatilidad del mercado. A través del análisis *Wavelet*, se identificaron picos de volatilidad en el DJSI durante eventos globales clave, como el Brexit en 2016, la pandemia de COVID-19 en 2020 y la guerra en Ucrania en 2022. Además, la coherencia *Wavelet* mostró que el DJSI impactó negativamente al VIX en todos los plazos, con una relación especialmente significativa en el corto y mediano plazo entre 2017 y 2019. De manera similar, el DJSI influyó en el MOVE a corto plazo en 2015-2016 y en el mediano y largo plazo desde 2019, mientras que el MOVE y el VIX presentaron una interconexión positiva en distintos periodos. Estos resultados resaltan la importancia de integrar las perspectivas de sostenibilidad en las decisiones de inversión y gestión de riesgos.

Finalmente, Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Botero (2023) utilizaron el análisis *Wavelet* para estudiar la conectividad dinámica entre los precios del petróleo, los bonos verdes y las emisiones de CO2. Los resultados mostraron que los precios del petróleo tenían un impacto negativo en el índice de bonos verdes a mediano plazo, mientras que existía una fuerte interdependencia entre los precios del petróleo y las emisiones de CO2 en todos los plazos. Además, la relación entre los bonos verdes y las emisiones de CO2 fue especialmente fuerte, con los bonos verdes liderando esta dinámica.

Estudios más recientes como los de Marín-Rodríguez et al. (2024), sobre la sostenibilidad fiscal en América Latina, utilizaron el análisis de coherencia *Wavelet* para examinar las relaciones dinámicas entre los ingresos y los gastos gubernamentales en Brasil, Chile, Colombia, Perú y México. Los resultados mostraron patrones causales distintos en cada país, destacando la importancia de un manejo fiscal equilibrado. Brasil, por ejemplo, mostró una transición de causalidad positiva a negativa a corto plazo, lo que subraya la necesidad de una planificación fiscal meticulosa, mientras que Chile mostró una causalidad positiva sostenida, reflejando una gestión fiscal eficiente. Este enfoque temporal permitió a los autores concluir que las políticas fiscales deben ser adaptadas a las particularidades de cada país para garantizar la estabilidad fiscal y el crecimiento económico sostenible.

Los estudios previos evidencian la versatilidad de la metodología *Wavelet* para analizar dinámicas entre variables en distintos horizontes temporales, ofreciendo una comprensión más precisa de las relaciones entre sostenibilidad, riesgo e incertidumbre. Estos hallazgos resaltan su utilidad para evaluar fluctuaciones a corto, mediano y largo plazo, con implicaciones relevantes en la gestión de riesgos y la formulación de estrategias de inversión sostenible.

Aunque ampliamente investigada en países desarrollados, la relación entre desempeño ESG y rendimiento financiero es poco estudiada en economías emergentes, particularmente en Latinoamérica (Duque-Grisales et al., 2020; Manrique & Martí-Ballester, 2017; Albanés, 2022). En ese sentido, Colombia presenta un caso singular por sus desafíos y oportunidades hacia la sostenibilidad empresarial, cuyo impacto puede influir significativamente en la estabilidad económica y el desarrollo sostenible del país.

Este estudio busca llenar ese vacío en la literatura al ser el primero en aplicar coherencia de *Wavelet* para analizar cómo evolucionan las relaciones entre factores ESG y los precios de las acciones en Colombia, desde 2013 hasta 2024. Sus resultados no solo contribuirán al entendimiento de estos vínculos en un mercado emergente, sino que también ofrecerán herramientas clave para diseñar estrategias empresariales y políticas públicas adaptadas al contexto colombiano.

3. Datos y Metodología

3.1. Datos

El conjunto de datos incluye los precios de cierre diarios de acciones ordinarias y preferenciales que forman parte del índice MSCI COLCAP, los cuales se encuentran en la Tabla 1. Por su parte, el Índice de Sostenibilidad Dow Jones (DJSI) evalúa el desempeño en sostenibilidad de las principales compañías a nivel mundial. La inclusión en este índice representa uno de los reconocimientos más importantes que una compañía puede obtener globalmente, lo que ejerce una influencia significativa en las decisiones de inversión. El DJSI evalúa aproximadamente 3,000 compañías en todo el mundo. Adicionalmente, el DJSI, el se destaca como uno de los más rigurosos en términos de selección de compañías y, dada su larga trayectoria en este campo, se ha consolidado como un estándar de excelencia en la evaluación de prácticas sostenibles (Andreu Pinillos et al., 2018).

Estudios relevantes, como el de Ioannou y Serafeim (2019), han examinado la relación entre la sostenibilidad corporativa y el desempeño financiero, utilizando el DJSI como medida de sostenibilidad. En este caso, el desempeño financiero se evaluó a través de dos variables clave: el retorno sobre el capital (*Return on Capital*), que mide la rentabilidad operativa de la empresa en relación con el capital invertido, y el múltiplo precio-valor en libros (*Price-to-Book Ratio*), que compara el precio de mercado de las acciones con el valor contable de los activos de la empresa. El período de muestreo abarca desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de agosto de 2024, incluyendo 63192 observaciones diarias. Todos los datos fueron recopilados de Bloomberg.

De la Tabla 1, se puede observar que el índice COLCAP refleja la dominancia de ciertos sectores clave en la economía colombiana. Las empresas de los sectores financiero, como Bancolombia, Grupo Aval y Grupo Suramericana, así como de construcción, como Cementos Argos e Inversiones Argos, tienen una alta ponderación en el índice, lo que indica que estos sectores son fundamentales y tienen una gran influencia en el comportamiento del mercado. A pesar de esta dominancia, el índice también incluye empresas de una variedad de sectores, como energía (Canacol Energy, Terpel, Promigas), alimentos (Grupo Nutresa) y

materiales de construcción (Cementos Argos), lo que refleja una cierta diversidad en su composición.

Tabla 1. *Composición y ponderación de las acciones listadas en el índice MSCI COLCAP y DJSI*

Ticker	Nombre de la Compañía	Ponderación en el índice COLCAP	Acciones
PFBCOLO CB Equity	Bancolombia SA	18.61	453.18
BCOLO CB Equity	Bancolombia SA	10.98	255.45
CNEC CB Equity	Canacol Energy Ltd	0.44	20.51
PFCEMARG CB Equity	Cementos Argos SA	1.51	209.69
CEMARGOS CB Equity	Cementos Argos SA	4.01	469.28
PFAVAL CB Equity	Grupo Aval Acciones y Valores	2.95	4,534.15
GRUPOSUR CB Equity	Grupo de Inversiones Suramericana SA	1.99	46.78
PFGRUPSU CB Equity	Grupo de Inversiones Suramericana SA	2.39	112.77
NUTRESA CB Equity	Grupo Nutresa SA	5.75	91.76
GRUPOARG CB Equity	Inversiones Argos SA	5.03	296.31
PFGRUPOA CB Equity	Inversiones Argos SA	2.68	212.32
MINEROS CB Equity	Mineros SA	0.20	75.11
TERPEL CB Equity	Organización Terpel SA	0.37	36.37
PROMIG CB Equity	Promigas SA	0.76	113.75

Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan las estadísticas descriptivas de los rendimientos diarios de las variables seleccionadas, calculados como la primera diferencia del logaritmo natural de los precios o índices. La decisión de utilizar los retornos de los precios de las acciones y del índice para aplicar la metodología de *Wavelet* se basa en que estos retornos capturan las variaciones porcentuales diarias, proporcionando una medida estandarizada y comparable de las fluctuaciones de valor.

Este enfoque es especialmente útil para analizar las relaciones dinámicas y dependencias entre series financieras que no son evidentes al observar solo los precios absolutos. Además, la metodología de *Wavelet* permite estudiar la relación entre las series a diferentes horizontes temporales (corto, mediano y largo plazo), lo cual es crucial en los mercados financieros, donde los efectos de factores externos, como políticas económicas o tendencias globales, pueden manifestarse de manera distinta según el horizonte temporal.

Los rendimientos diarios promedio de la mayoría son cercanos a cero y en algunas compañías son negativas. En contraste, el índice RDJINDEX muestra una media positiva sugiriendo un comportamiento más favorable en comparación con otras variables.

Además, la Tabla 2 muestra que los resultados de la prueba de Jarque-Bera son significativos, con valores elevados que confirman que la mayoría de las variables no siguen una distribución normal. Esta conclusión es crucial para el análisis estadístico posterior, que podría requerir métodos más sofisticados para manejar distribuciones no normales. Además, todas las series analizadas presentan valores p extremadamente bajos en la prueba ADF, lo que nos permite rechazar con un alto grado de confianza la hipótesis nula de que existe una raíz unitaria en cada serie. Por lo tanto, a partir de la prueba ADF, todas las series parecen ser estacionarias en media. Sin embargo, los resultados de la prueba ARCH son mixtos; algunas series muestran valores p significativos, indicando que la varianza de los errores no es constante a lo largo del tiempo. Esto sugiere que, aunque las series pueden ser estacionarias en media, no son estacionarias en varianza. Así, la presencia de heteroscedasticidad en varias series

resalta que no todas son estacionarias en sentido estricto, lo que reafirma la necesidad de emplear metodologías más robustas para analizar la relación dinámica entre los precios de las acciones y los aspectos ESG.

Tabla 2. *Estadística Descriptiva de los retornos acciones listadas en el Índice MSCI COLCAP y DJSI*

RBCOLO	0.00009	0.22	-0.20	0.021	-0.04	15.81	17910.3	-50.5***	1045.2
RCEMARGOS	-0.00013	0.27	-0.27	0.021	-0.27	35.60	115972.4	-33.35***	738.1
RCNEC	-0.00055	0.36	-0.21	0.026	0.41	23.52	46024.4	-49.25***	456.3
RGRUPOARG	-0.00013	0.29	-0.22	0.022	0.89	35.67	116805.9	-45.95***	1396.5
RGRUPOSUR	-0.00011	0.29	-0.24	0.022	0.50	30.77	84218.1	-47.75***	528.6
RDJINDEX	0.00024	0.08	-0.11	0.009	-1.16	19.71	31023.6	-16.15***	1976.3
RMINEROS	0.00006	0.17	-0.11	0.019	0.06	11.67	8196.6	-53.65***	211.1
RNUTRESA	0.00030	0.50	-0.34	0.022	4.58	148.32	2312693.0	-52.05***	4.45***
RPFAVAL	-0.00038	0.21	-0.14	0.016	0.31	22.70	42363.9	-34.95***	1505.1
RPFBCOLO	0.00005	0.14	-0.20	0.017	-0.80	15.63	17675.2	-33.05***	1192.3
RPFCEMARG	-0.00012	0.19	-0.20	0.020	-0.02	17.38	22559.9	-33.15***	865.0
RPFGRUPOA	-0.00026	0.17	-0.27	0.021	-0.52	19.77	30808.6	-34.25***	1273.9
RPFGRUPSU	-0.00026	0.19	-0.26	0.020	0.23	32.33	93889.6	-32.05***	878.3
RPROMIG	0.00017	0.14	-0.11	0.017	-0.22	13.63	12355.9	-58.25***	95.3
RTERPEL	-0.00022	0.16	-0.17	0.018	-0.64	19.02	28173.1	-57.25***	34.6

Fuente: Investigación propia con datos de Bloomberg. Notas: Esta tabla presenta estadísticas resumidas de los rendimientos diarios de las variables seleccionadas en este estudio. La muestra del 1 de enero de 2013 al 31 de agosto de 2024 arrojó 63192 observaciones. *** indica el rechazo de la hipótesis nula tanto para la prueba de normalidad (a través de Jarque-Bera) como para la prueba de raíz unitaria [a través de Augmented Dickey-Fuller (ADF)]. La prueba ADF se realiza con una intersección; ARCH-LM, es la prueba de heterocedasticidad hasta 18 rezagos.

Para evaluar si los resultados de las pruebas estadísticas están influenciados por períodos con comportamientos atípicos que generan heterocedasticidad, es fundamental emplear metodologías que capturen la naturaleza dinámica y no lineal de las relaciones económicas. En este sentido, el análisis *Wavelet* es una herramienta adecuada, ya que maneja la no linealidad, los quiebres estructurales y la no estacionariedad de los datos.

Si bien la coherencia *Wavelet* proporciona información valiosa sobre relaciones lineales en distintas frecuencias, puede no capturar completamente la complejidad de las asociaciones no lineales. No obstante, su capacidad para analizar simultáneamente variaciones en el tiempo y la frecuencia, sin imponer supuestos previos sobre horizontes temporales, la convierte en una técnica robusta para examinar la influencia de eventos extraordinarios en las relaciones económicas. Además, al proporcionar un marco unificado para evaluar dinámicas intertemporales, como la relación entre ingresos y gastos gubernamentales, el análisis *Wavelet* permite considerar los efectos de choques atípicos, ciclos electorales y

cambios institucionales (Cascio 2015; Magazzino y Mutascu 2019; Sun et al. 2023; Marín-Rodríguez et al. 2024). Por lo tanto, su incorporación en el análisis puede ofrecer una visión más clara sobre la incidencia de comportamientos atípicos en los resultados estadísticos, mitigando distorsiones derivadas de la heterocedasticidad y permitiendo una evaluación más precisa de la robustez de los hallazgos.

3.2. El Análisis de *Wavelets* en Finanzas

Las series de tiempo son cruciales en la comprensión de los mercados financieros, revelando variaciones en diversas escalas de tiempo y frecuencias. Sin embargo, los métodos de correlación tradicionales en finanzas suelen ignorar estas variaciones, ya que los rendimientos de los activos financieros no son estacionarios y exhiben volatilidad variable en el tiempo (Aguiar-Conraria et al., 2008).

La metodología de coherencia de *Wavelet*s emerge como una herramienta adecuada para abordar esta problemática, ya que permite explorar relaciones entre variables financieras en términos de dirección, frecuencia y tiempo (Téllez Gaytán & López Sarabia, 2010). Esto permite identificar patrones cambiantes en diferentes escalas temporales, ofreciendo una aproximación más precisa de cómo los aspectos ESG pueden influir en los precios de las acciones en Colombia.

El análisis de Fourier, aunque común en economía para detectar patrones cíclicos, tiene limitaciones al no considerar cambios temporales en las series de tiempo no estacionarias (Aguiar-Conraria et al., 2008). La transformada de Fourier de corto plazo, inicialmente propuesta por Gabor (1946), no logró adaptarse eficientemente a diferentes frecuencias y escalas. En contraste, el análisis de *Wavelet*s emerge como una alternativa más flexible y adecuada para datos económicos no estacionarios.

A diferencia de los modelos GARCH, que se centran en modelar la volatilidad a corto plazo, la metodología *Wavelet* permite analizar las relaciones entre variables en múltiples escalas temporales, proporcionando una visión más completa y flexible. Mientras que los modelos GARCH son limitados en su capacidad para capturar interacciones a largo plazo, *Wavelet* ofrece una descomposición multi-escala que permite estudiar tanto fluctuaciones a corto como largo plazo. En cuanto al análisis de cointegración, aunque útil para identificar relaciones a largo plazo, no es eficaz para dinámicas a corto y mediano plazo, lo que *Wavelet* sí logra, especialmente en contextos como los mercados financieros. Además, la transformada de Fourier de corto plazo asume relaciones estacionarias, lo que limita su capacidad para detectar variaciones dinámicas a lo largo del tiempo, algo que *Wavelet* puede abordar con mayor precisión (Aguiar-Conraria et al., 2008, Bouri et al., 2020; Marín-Rodríguez et al., 2023).

El desarrollo de la teoría de *Wavelet*s en la década de 1980 y sus posteriores avances en la década de 1990 permitieron superar estas limitaciones, ofreciendo herramientas más avanzadas como la potencia cruzada de *Wavelet* y la coherencia cruzada de *Wavelet* (Hudgins et al., 1993; Torrence & Compo, 1998). Estas técnicas son esenciales para comprender relaciones complejas en datos económicos y financieros.

3.2.1. Coherencia de *Wavelet*

El enfoque de coherencia de *Wavelet* ha sido aplicado en diversos campos, desde el estudio de la co-movilidad de tasas de cambio hasta la evaluación de la transmisión de volatilidad entre mercados de valores desarrollados (Aloui & Hkiri, 2014; Ramsey & Zhang, 1997). Goodell & Goutte (2021) destacan que este enfoque permite capturar relaciones entre series temporales tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, utilizando una transformada de *Wavelet* continua.

Diversas *Wavelets* han sido propuestos en la literatura para la descomposición de series temporales, y su selección varía según el objetivo del estudio: Haar es ideal para detectar cambios abruptos, mientras que Daubechies equilibra la localización en tiempo y frecuencia, útil para estructuras complejas. Morlet, al combinar una onda sinusoidal con una función gaussiana, se emplea en análisis espectral. Mexican Hat, similar a la segunda derivada de una gaussiana, destaca en la detección de bordes y cambios en señales. Otras variantes, como Coiflet, Symlet y Meyer, presentan distintas propiedades matemáticas según la aplicación.

Esta investigación sigue el enfoque de Torrence & Compo (1998), quienes recomiendan la *Wavelet* de Morlet en estudios de coherencia y transformadas continuas de *Wavelet*. Esta es especialmente adecuada para el análisis de series financieras porque optimiza la resolución en el dominio de la frecuencia, permitiendo identificar patrones cíclicos en distintas escalas temporales, mantiene una buena localización en el tiempo y la frecuencia, lo que facilita capturar cambios dinámicos en la relación entre las series y es ampliamente utilizada en estudios de mercados financieros para evaluar correlaciones dinámicas y transmisión de volatilidad, como lo mencionan los trabajos citados en el texto (Torrence & Compo, 1998; Goodell & Goutte, 2021).

La función de *Wavelet* de Morlet se define de la siguiente manera:

$$\psi^M(t) = \frac{1}{\pi^{1/4}} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \tag{1}$$

donde ω_0 representa la frecuencia central de la *Wavelet*. Siguiendo a Bouri et al. (2020), en esta investigación se ha utilizado $\omega_0 = 6$, ya que esta frecuencia central permite una adecuada localización entre el tiempo y la frecuencia.

De acuerdo con lo anterior, la transformada *Wavelet* continua $W_x(u,s)$ se obtiene proyectando una *Wavelet* madre ψ sobre la serie temporal examinada $x(t) \in L^2(\mathbb{R})$ es decir:

$$W_x(u,s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \tag{2}$$

La posición de la *Wavelet* en el dominio del tiempo viene dada por u, mientras que su posición en el dominio de la frecuencia está dada por s. Por lo tanto, la transformada *Wavelet*, al mapear la serie original en una función de estas, nos brinda información simultáneamente sobre el tiempo y la frecuencia (Daubechies, 1992).

Siguiendo el enfoque de Torrence & Compo (1998), la transformación cruzada de *Wavelet* de dos series temporales $x(t)$ e $y(t)$ se define utilizando su propia transformada cruzada de *Wavelet* $W_n^x(u,s)$ y $W_n^y(u,s)$ como:

$$W_n^{xy}(u,s) = W_n^x(u,s) * W_n^y(u,s) \tag{3}$$

- u: está relacionada con la ubicación
- s: está relacionada con la escala
- el asterisco (*): indica el conjugado complejo.

La transformación cruzada de *Wavelet* resalta áreas en el dominio tiempo-frecuencia donde las series temporales muestran una alta potencia común. En otras palabras, captura la covarianza local entre las dos series temporales, $x(t)$ e $y(t)$, en cada escala.

Para analizar la interacción entre dos series de tiempo y comprender qué tan estrechamente están relacionadas X e Y mediante una transformación lineal, es necesario aplicar un marco bivariado llamado coherencia de *Wavelet* (Torrence & Webster, 1999). Este enfoque permite explorar la relación entre las dos series en términos de tiempo y frecuencia, por lo tanto, se puede decir que la coherencia *Wavelet* de dos series temporales se define como:

$$R^2(u,s) = \frac{|S(s^{-1}W^{xy}(u,s))|^2}{S(s^{-1}|W^x(u,s)|^2)S(s^{-1}|W^y(u,s)|^2)} \quad (4)$$

Donde s es un operador de suavizado en el tiempo y en la escala, $R^2(u,s)$ es la coherencia *Wavelet* al cuadrado el cual se encuentra entre 0 y 1. $W_{xy}(\tau,s)$ son las transformadas *Wavelet*s $x(t)$ e $y(t)$ respectivamente.

3.2.2. Coherencia al cuadrado de *Wavelet*

La coherencia al cuadrado de *Wavelet* es una medida que evalúa la relación de co-movimiento entre dos series de tiempo en términos de frecuencia y tiempo. Cuando esta coherencia cuadrada tiene un valor más alto, indica un mayor grado de co-movimiento entre las dos series de tiempo, lo que significa que ambas series tienden a cambiar juntas en términos de sus patrones y movimientos (Rua & Nunes, 2009).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta medida solo puede mostrar la magnitud de la relación, pero no puede distinguir entre si esta relación es positiva o negativa, ni si es una correlación positiva o negativa. Para abordar esta limitación, se utiliza la diferencia de fase, una técnica propuesta por Torrence & Compo (1998), que permite capturar tanto el co-movimiento positivo como el negativo.

Además, la representación gráfica de la coherencia cuadrada de *Wavelet* puede proporcionar información sobre las relaciones causales entre las dos series de tiempo, en un enfoque similar a las pruebas de causalidad de Granger.

Por lo tanto, se obtiene la diferencia de fase de coherencia *Wavelet*, la cual se define como:

$$\Phi_{xy}(u,s) = tan^{-1}\left(\frac{Im\{S(s^{-1}W^{xy}(u,s))\}}{Re\{S(s^{-1}W^{xy}(u,s))\}}\right) \quad (4)$$

Donde Im y Re son las partes imaginaria y real de la transformada de ondas cruzadas suavizada, respectivamente.

Esta metodología representada en un gráfico que muestra tiempo y escala, permite visualizar la intensidad de la asociación entre series analizadas mediante una escala de colores. Sin embargo, regiones más allá de la línea negra o la zona de influencia no son estadísticamente significativas al 5% de nivel de significancia. El espectro de colores muestra la intensidad de la asociación (co-movimiento) entre el par de series analizadas. Los colores más cálidos (rojos) indican co-movimientos significativos, mientras que los colores más fríos (azules) representan co-movimientos débiles entre las series. (Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Botero, 2023).

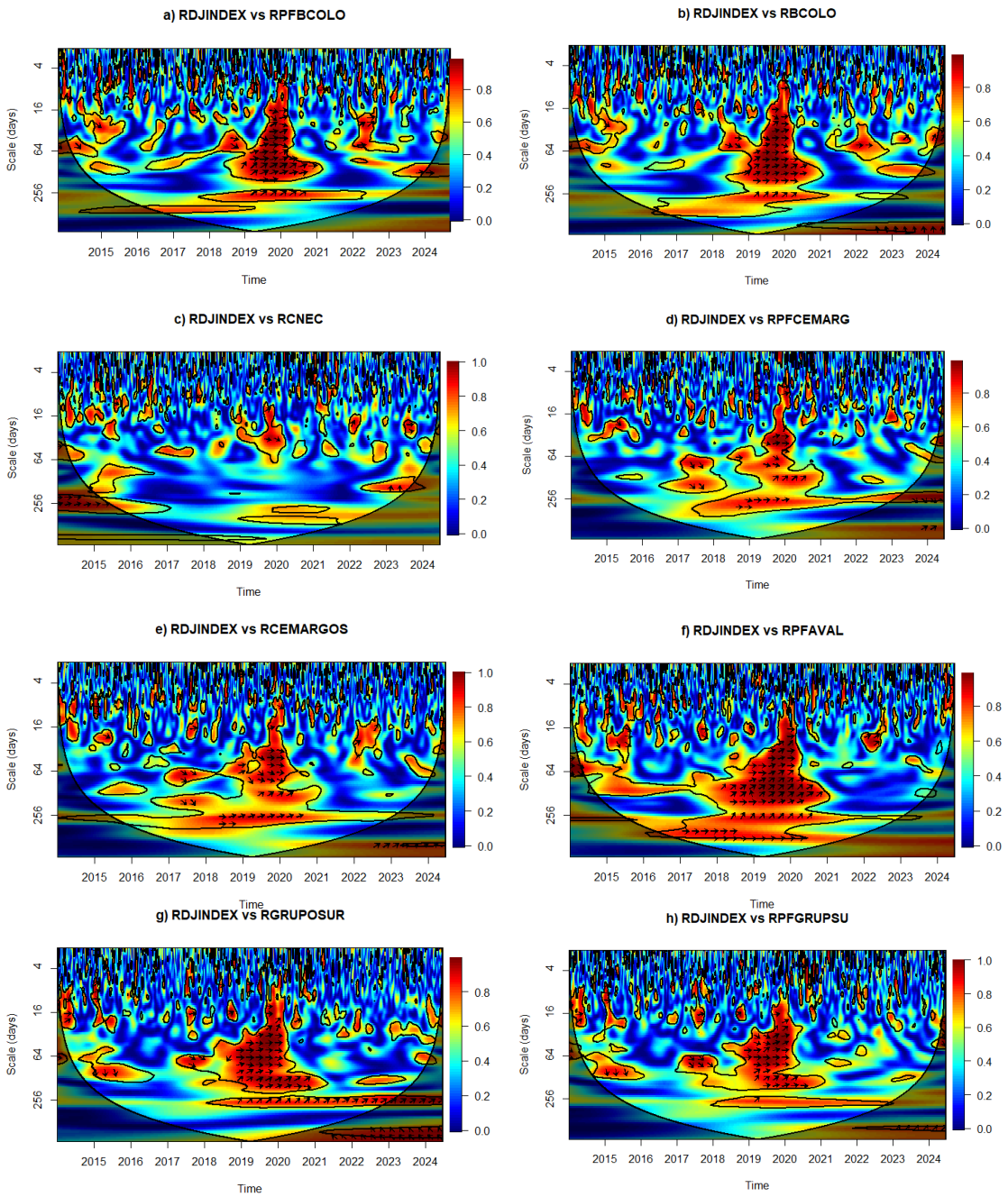
4. Resultados y discusiones

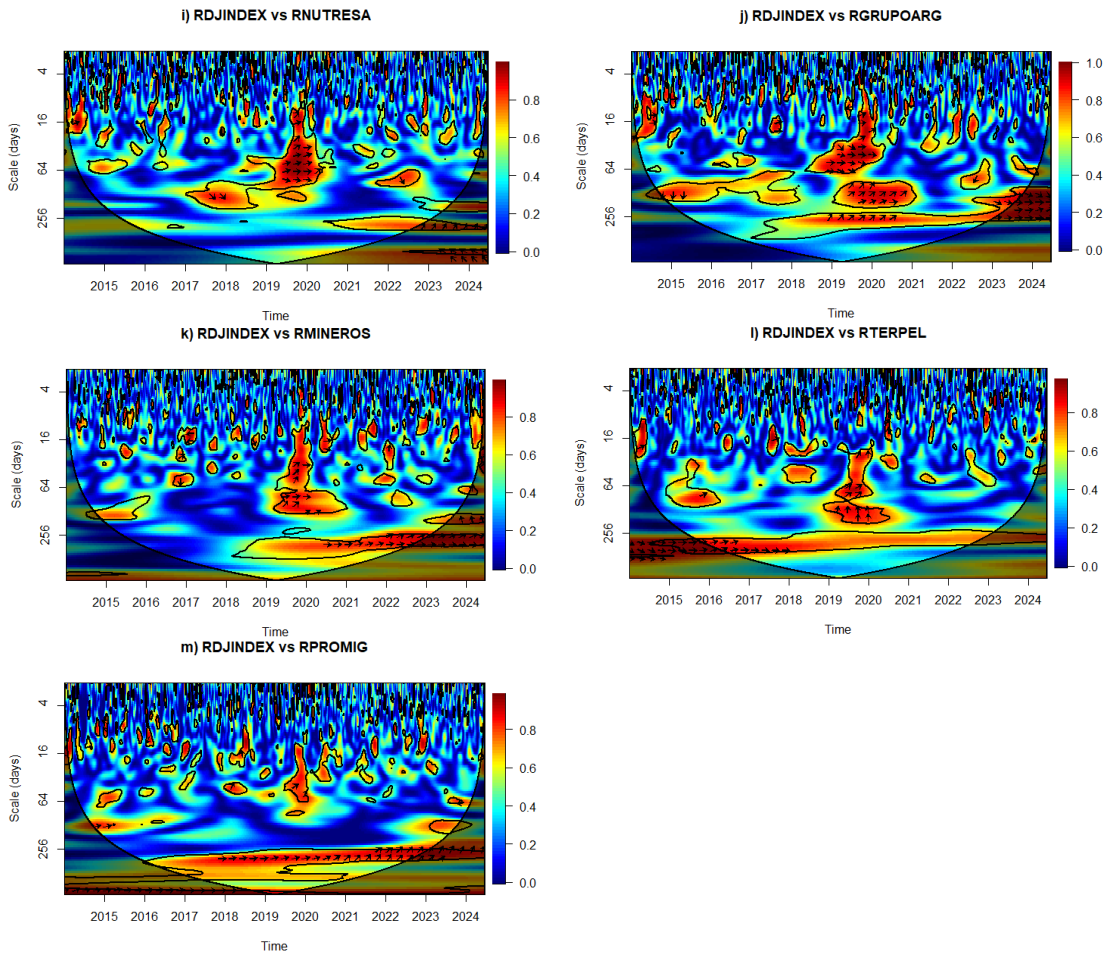
4.1. Principales Resultados

Las dinámicas complejas en diversas escalas de tiempo son analizadas tomando como referencia el estudio de Marín-Rodríguez, González-Ruiz, & Botero (2023). En la Figura 2,

se ilustra cómo las gráficas se estructuran en dos ejes: el eje horizontal (eje x), que representa el periodo de investigación en días, y el eje vertical (eje y), que refleja el dominio de frecuencia. En la parte derecha de cada gráfico, un código de color gradiente indica la potencia de la coherencia: azul oscuro señala baja potencia (cercana a cero) y rojo oscuro, alta potencia (cercana a uno).

Figura 2. *Coherencia de Wavelet entre los rendimientos del índice global de sostenibilidad Dow Jones (RDJINDEX) y los retornos de las compañías colombianas incluidas en dicho índice*





Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

El análisis considera cinco ciclos de frecuencia: 1–4, 4–16, 16–64, 64–256 y 256–512 días. La banda más corta, que abarca de 1 a 4 días, corresponde a la frecuencia más alta, mientras que la banda más larga, que va de 256 a 512 días, está asociada con la frecuencia más baja. Para una mejor comprensión de los resultados, las señales se agrupan de la siguiente forma: en el corto plazo (CP), las señales en las bandas de 2–4 y 4–16 días; en el mediano plazo (MP), las señales en las bandas de 16–64 y 64–256 días; y en el largo plazo (LP), las señales en la banda superior a 256 días.

La dirección de las flechas en las gráficas indica la causalidad entre las variables, mientras que su inclinación define la naturaleza de la relación (positiva o negativa). Este enfoque facilita la identificación de patrones de interacción específicos entre las variables analizadas. Con base en lo anterior, los resultados obtenidos se agrupan y presentan en la Tabla 3, con el fin de facilitar los análisis y explicar las causalidades identificadas en las bandas de tiempo.

El análisis *Wavelet* ofrece ventajas significativas sobre la causalidad de Granger en la detección de relaciones causales en series de tiempo, particularmente en contextos donde las interacciones evolucionan a distintas escalas temporales. Mientras que la causalidad de Granger se basa en relaciones lineales y requiere estacionariedad en los datos, el análisis *Wavelet* permite examinar dinámicas causales en múltiples frecuencias sin necesidad de transformaciones adicionales. Además, su capacidad para identificar relaciones no lineales y reducir el impacto del ruido lo convierte en una herramienta más robusta para el análisis de fenómenos complejos. Estas características hacen del análisis *Wavelet* un enfoque más potente para evaluar causalidad, especialmente en estudios donde las interacciones pueden

manifestarse de manera diferenciada en el corto, mediano y largo plazo (Leong & Huang, 2010).

Tabla 3. *Consolidación de las causalidades en las bandas de tiempo*

a)	RJINDEX causó significativamente RPFBCOLO	Positiva MP				
	RPFBCOLO causó significativamente RJINDEX			Positiva MP	Positiva MP	Positiva MP
b)	RJINDEX causó significativamente RBCOLO	Positiva MP				
	RBCOLO causó significativamente RJINDEX			Positiva MP	Positiva MP	Positiva LP
c)	RJINDEX causó significativamente RCNEC			Positiva MP		
	RCNEC causó significativamente RJINDEX	Positiva MP				Positiva MP
d)	RJINDEX causó significativamente RPFCEMARG	Positiva MP	Positiva MP			Positiva MP
	RPFCEMARG causó significativamente RJINDEX			Positiva MP		Positiva LP
e)	RJINDEX causó significativamente RCEMARGOS	Positiva CP	Positiva MP			
	RCEMARGOS causó significativamente RJINDEX			Positiva MP	Positiva MP	Positiva LP
f)	RJINDEX causó significativamente RPFAVAL	Positiva MP				
	RPFAVAL causó significativamente RJINDEX		Positiva MP	Positiva MP, LP	Positiva MP	
g)	RJINDEX causó significativamente RGRUPOSUR		Positiva MP		Positiva LP	Positiva LP
	RGRUPOSUR causó significativamente RJINDEX	Positiva CP		Positiva MP, LP	Positiva LP	
h)	RJINDEX causó significativamente RPFGRUPSU	Positiva MP	Positiva MP			
	RPFGRUPSU causó significativamente RJINDEX			Positiva MP		Positiva LP
i)	RJINDEX causó significativamente RNUTRESA		Positiva MP		Positiva MP	Positiva LP
	RNUTRESA causó significativamente RJINDEX			Positiva MP		Positiva MP
j)	RJINDEX causó significativamente RGRUPOARG					
	RGRUPOARG causó significativamente RJINDEX			Positiva MP, LP		Positiva LP
k)	RJINDEX causó significativamente RMINEROS	Negativa CP				
	RMINEROS causó significativamente RJINDEX			Positiva MP, LP	Positiva LP	Positiva LP
l)	RJINDEX causó significativamente RTERPEL	Positiva LP	Positiva LP			
	RTERPEL causó significativamente RJINDEX			Positiva MP		
m)	RJINDEX causó significativamente RPROMIG					
	RPROMIG causó significativamente RJINDEX	Positiva MP, LP	Positiva LP	Positiva LP	Positiva LP	Positiva LP

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Tabla 3 revelan diferentes patrones de co-movimiento entre el índice RDJINDEX y las acciones, incluyendo tanto aquellas incluidas en el DJSI como aquellas no incluidas. A continuación, se detallan los principales resultados por sector.

4.1.1. Acciones del sector financiero

Para RPFBCOLO (acciones preferenciales de Bancolombia), hasta 2015, se observó una influencia positiva del RDJINDEX en esta serie dentro de las bandas de mediano plazo. Sin embargo, entre 2018 y 2021, la dirección de la causalidad se invirtió, y RPFBCOLO comenzó a influir significativamente en el índice en escalas similares. Desde 2022 hasta 2024, esta causalidad se mantuvo, extendiéndose hacia bandas de largo plazo.

En el caso de RBCOLO (acciones ordinarias de Bancolombia), la influencia inicial hasta 2016 provenía de RDJINDEX, con una relación positiva en escalas de mediano plazo. No obstante, entre 2018 y 2021, RBCOLO comenzó a impactar de manera notable en RDJINDEX, abarcando un rango más amplio de frecuencias entre mediano y largo plazo. Este patrón continuó en el período 2023 a 2024, aunque con una interacción más localizada en el límite inferior de la escala.

RPFGRUPSU (acciones preferenciales de Grupo SURA) hasta 2015 se observó que la acción causaba al índice en escalas de 16 a 64 días. Entre 2015 y 2016, la causalidad se invirtió, con RJINDEX causando a RPFGRUPSU en escalas mayores a 64 días. En el período de 2017 a 2018, se estableció una relación bidireccional: RJINDEX causaba a RPFGRUPSU en escalas de 64 días, mientras que RPFGRUPSU causaba a RJINDEX en escalas más cortas. De 2019 a 2021, RPFGRUPSU pasó a causar principalmente a RJINDEX en escalas de 16 a 256 días, reflejando un impacto más directo en el índice.

Para RGRUPOSUR (acciones ordinarias de Grupo SURA), incluida en el índice RJINDEX, hasta 2015 se observó que RGRUPOSUR causaba a RJINDEX en una relación positiva a una escala de 16 días. Entre 2015 y 2016, RJINDEX pasó a causar a RGRUPOSUR en escalas superiores a 64 días, pero con una relación más débil. Entre 2017 y 2021, RGRUPOSUR causó a RJINDEX de manera significativa, especialmente en escalas de 16 días a 256 días. A partir de 2019 y hasta 2024, la causalidad de RGRUPOSUR hacia RJINDEX se mantuvo en escalas superiores a 256 días. Sin embargo, de 2021 a 2024, se observó un cambio en la dinámica, con RJINDEX causando a RGRUPOSUR en escalas mayores a 256 días, lo que sugiere un cambio en la dirección de la causalidad.

Por último, para RPFAVAL (acciones preferenciales de Grupo Aval), hasta 2016, se identificó una relación positiva débil en la que RDJINDEX causaba a RPFAVAL en escalas de mediano plazo. Entre 2017 y 2021, la dirección de la causalidad cambió significativamente, mostrando una fuerte interacción donde RPFAVAL influyó en RDJINDEX, especialmente en escalas superiores a 256 días. Sin embargo, en los años posteriores, específicamente 2023–2024, no se observaron flechas, indicando la ausencia de una relación causal destacada en este período.

En términos generales, estos resultados subrayan la importancia de una gestión estratégica de la sostenibilidad para las compañías listadas en el DJSI. Aunque tradicionalmente, el índice debe influir en las acciones al reflejar estándares globales y tendencias en sostenibilidad, los resultados sugieren que las compañías colombianas han mostrado una capacidad creciente para alinearse de manera efectiva con estas métricas, reforzando su protagonismo en la agenda sostenible. Esto tiene implicaciones clave para inversionistas, reguladores y los propios emisores de índices, pues resalta cómo las compañías líderes en sostenibilidad

pueden responder de manera estratégica a estos estándares y, en ciertos casos, anticipar o adaptarse de forma proactiva a las tendencias globales reflejadas en el índice. Finalmente, las dinámicas temporales observadas enfatizan la necesidad de monitorear continuamente estas relaciones para adaptar estrategias corporativas y de inversión de forma oportuna, asegurando que las compañías no solo respondan a las exigencias del índice, sino que fortalezcan su posicionamiento en el mismo.

4.1.2. Acciones del sector industrial

En cuanto a RPFCEMARG (acciones preferenciales de Cementos Argos), entre 2015 y 2016, RDJINDEX causó a esta serie positivamente en escalas de mediano plazo. Posteriormente, entre 2018 y 2021, RPFCEMARG comenzó a influir significativamente en RDJINDEX, cubriendo todo el espectro desde corto hasta largo plazo. En 2024, se observó un patrón de interacción bidireccional, donde ambas series se causaron mutuamente en diferentes escalas: RDJINDEX en mediano plazo y RPFCEMARG en largo plazo.

Para RCEMARGOS (acciones ordinarias de Cementos Argos), la influencia inicial de RDJINDEX se registró entre 2015 y 2016 en escalas de corto y mediano plazo. Esta tendencia cambió a partir de 2018 y se prolongó hasta 2021, cuando RCEMARGOS comenzó a influir en RDJINDEX con relaciones positivas en todas las escalas de tiempo. En el período 2023–2024, esta causalidad de RCEMARGOS hacia RDJINDEX se concentró en bandas de largo plazo, con un impacto significativo cercano al límite inferior de la escala.

Para RNUTRESA (acciones ordinarias de Nutresa), la influencia inicial de RJINDEX se observó antes de 2015, cuando RNUTRESA causaba al índice en escalas de corto plazo (16 días). Entre 2017 y 2018, la relación se volvió bidireccional, con RJINDEX causando a RNUTRESA en escalas de mediano y largo plazo (64 y 256 días). Esta dinámica cambió durante el periodo 2019–2021, cuando RNUTRESA retomó su influencia sobre el índice en escalas de corto y mediano plazo (16 a 64 días), con una relación positiva. En 2022, RJINDEX pasó a influir nuevamente en RNUTRESA en una escala de mediano plazo cercana a los 64 días. Finalmente, en el periodo 2023–2024, la relación se tornó compleja y bidireccional: RNUTRESA impactó a RJINDEX en escalas de largo plazo (256 días), mientras que el índice causó a RNUTRESA en escalas superiores a 256 días.

Para RGRUPOARG (acciones ordinarias de Grupo Argos), incluida en el índice RJINDEX, hasta 2015 se observó que existía una relación positiva de causalidad entre ambas series en escalas de 16 días, aunque RJINDEX causaba a RGRUPOARG en escalas entre 64 y 256 días. Entre 2019 y 2021, RGRUPOARG causó a RJINDEX en escalas de 16 a 64 días, así como en escalas superiores a 64 días, incluyendo una relación en la escala de 256 días. De 2022 a 2023, la causalidad fue más débil, concentrándose en una relación en la escala de 64 días. Finalmente, en 2023-2024, se observó una concentración de causalidad positiva de RGRUPOARG hacia RJINDEX en la escala de 256 días.

Los resultados reflejan dinámicas complejas entre el desempeño bursátil de compañías colombianas y el DJSI, destacando cómo Cementos Argos, Nutresa y Grupo Argos han evolucionado en su relación con el índice. Cementos Argos pasó de ser influenciada por el índice a impactarlo significativamente, con interacciones bidireccionales en 2024, evidenciando su protagonismo creciente en sostenibilidad. Nutresa mostró una relación más dinámica y bidireccional en distintas escalas temporales, consolidando su posición como líder en sostenibilidad y fortaleciendo la confianza del mercado. Grupo Argos, por su parte, presentó un impacto significativo, pero más gradual en escalas de largo plazo, sugiriendo oportunidades de mejora en la adaptabilidad de sus estrategias sostenibles. Estos hallazgos resaltan la necesidad de monitorear estas relaciones para optimizar estrategias corporativas,

fortalecer la posición en el DJSI y maximizar el atractivo para los inversores interesados en sostenibilidad.

4.1.3. Acciones del sector energético

RCNEC (acciones de Canacol), que no pertenece al RDJINDEX, mostró inicialmente una relación positiva tenue con el índice en la banda de largo plazo antes de 2016. Durante 2019 y 2020, RDJINDEX mostró brevemente influencia en RCNEC en escalas de mediano plazo. No obstante, entre 2023 y 2024, se destacó un cambio hacia la causalidad de RCNEC hacia RDJINDEX en escalas más largas, consolidando una relación positiva.

Por otro lado, RMINEROS, y RPROMIG, mostraron patrones de correlación menos marcados y más específicos en escalas de tiempo prolongadas (64 días o superiores). Esto sugiere que, aunque estas acciones pueden experimentar co-movimientos con el índice RDJINDEX en momentos puntuales, la dependencia no es tan sostenida ni fuerte como en el caso de las acciones incluidas en el índice. En el corto plazo, estas compañías de sectores energético y minero también muestran una correlación significativa con el índice RDJINDEX, lo cual puede estar más vinculado a factores comunes del sector, como los precios de los *commodities* y las percepciones globales sobre la sostenibilidad en la industria energética. Esto indica que, a pesar de la falta de un enfoque explícito en sostenibilidad, las compañías de estos sectores responden a la evolución de las expectativas globales sobre sostenibilidad, reflejando la sensibilidad de estos sectores a las regulaciones y políticas internacionales.

Durante el período 2021-2023, las compañías Canacol Energy Ltd., Mineros S.A. y Promigas S.A. han implementado importantes iniciativas que reflejan su compromiso con la sostenibilidad y han contribuido a mejorar sus indicadores de desempeño en mercados cada vez más exigentes. Canacol, enfocada en la producción de gas natural, ha invertido en la expansión de su infraestructura y perforación de pozos para fortalecer la seguridad energética del país. Además, ha implementado prácticas sostenibles como la gestión eficiente del agua y la reducción de emisiones, y ha participado en programas de responsabilidad social en sus comunidades.
Mineros, líder en la producción de oro, ha priorizado la eficiencia operativa y la creación de valor para sus accionistas. La empresa ha implementado programas de sostenibilidad para minimizar su impacto ambiental y ha desarrollado proyectos sociales y ambientales en las zonas donde opera, mejorando así su reputación y competitividad. Promigas, clave en el transporte y distribución de gas natural, ha continuado invirtiendo en la modernización de su infraestructura para garantizar un suministro confiable. Adicionalmente, ha incursionado en proyectos de energías renovables, como plantas solares, buscando diversificar su portafolio y contribuir a la transición energética del país (Informes de Sostenibilidad Canacol Energy, 2023;Mineros, 2023;Promigas, 2023).

Para RTERPEL (acciones ordinarias de Terpel), que no está incluida en el índice RJINDEX, hasta 2018 se observó una concentración de flechas en escalas superiores a 256 días, algunas indicando que RJINDEX influía en RTERPEL y otras reflejando una relación positiva. Adicionalmente, se identificaron flechas aisladas en escalas de 16 y 64 días donde RTERPEL causó a RJINDEX. Entre 2019 y 2021, la acción de RTERPEL ejerció una influencia significativa sobre RJINDEX en escalas que abarcan de 16 a poco más de 64 días.

Los resultados destacan que compañías colombianas no incluidas en el RDJINDEX, como RCNEC, RMINEROS, RPROMIG y RTERPEL, pueden influir en el índice o mostrar correlaciones relevantes con él, especialmente en sectores sensibles como el energético y minero. RCNEC evidenció una creciente influencia sobre el índice en escalas largas (2023–2024), posiblemente reflejando alineación con expectativas globales de sostenibilidad.

RMINEROS y RPROMIG mostraron correlaciones específicas vinculadas a factores sectoriales como precios de *commodities* y regulaciones sostenibles. RTERPEL, a pesar de no estar en el índice, impactó significativamente al RDJINDEX en escalas más cortas entre 2019 y 2021. Terpel implementó diversas iniciativas sostenibles que impactaron su desempeño y percepción en el mercado, según noticias, comunicados de prensa y la sección de sostenibilidad de su sitio web. En 2019, presentó su décimo informe de sostenibilidad, destacando inversiones en energías renovables, como la instalación de paneles solares en sus estaciones y plantas, lo que contribuyó a la reducción de emisiones de CO_2. Además, lanzó la línea de combustibles Ecoterpel, diseñada para disminuir emisiones y mejorar la eficiencia vehicular. En términos de reconocimiento, en 2021 Terpel fue incluida en el *Sustainability YearBook del Dow Jones*, posicionándose entre las 15 empresas más sostenibles del sector retail a nivel mundial. Asimismo, reforzó su compromiso con la transparencia adoptando estándares internacionales en la divulgación de información ASG y participó en iniciativas como el Pacto Global de las Naciones Unidas y la Red de Sostenibilidad de Colombia (Informe de Gestión y Sostenibilidad Terpel, 2023). Estos hallazgos subrayan que incluso empresas fuera del índice pueden desempeñar un papel relevante en la agenda sostenible global, resaltando la necesidad de monitorear sus dinámicas para aprovechar oportunidades estratégicas y atraer inversión responsable.

4.1.4. Observaciones finales

Las escalas temporales revelan diferencias clave en la intensidad y la dirección de los co-movimientos. En períodos cortos (16-64 días), las relaciones tienden a ser más específicas y menos persistentes, mientras que en escalas largas (superiores a 256 días), las correlaciones y co-movimientos son más evidentes, especialmente en las acciones con mayor vinculación al índice. Esto subraya que el horizonte temporal es un factor crucial para comprender la interacción entre los retornos del índice y los retornos de las acciones.

Durante periodos de alta volatilidad y eventos extraordinarios, como la pandemia de COVID-19 y la incertidumbre geopolítica, algunas compañías experimentaron un desacoplamiento temporal con el índice de sostenibilidad. Este desacoplamiento es particularmente evidente en compañías como Cementos Argos, Nutresa, Grupo Argos y Mineros, que, en estos periodos, mostraron una mayor dependencia de factores idiosincráticos, como las decisiones estratégicas internas derivadas de cambios en la gestión, reestructuraciones, adquisiciones, modificaciones en la cadena de suministro o la adopción de nuevas tecnologías, así como las condiciones específicas del sector, que influyeron más en sus retornos que los aspectos ESG globales.

Cementos Argos, Nutresa y Grupo Argos han reforzado su compromiso con la sostenibilidad a través de diversas iniciativas que han impactado positivamente en su desempeño y competitividad. Cementos Argos ha implementado prácticas orientadas a la reducción de emisiones de CO_2 mediante el uso de combustibles alternativos, la optimización en el consumo de agua y energía, y el fomento de procesos de reciclaje y economía circular en la producción de cemento. Por su parte, Nutresa ha centrado sus esfuerzos en mejorar la sostenibilidad de su cadena de suministro, desarrollar envases ecológicos y promover prácticas agrícolas responsables, además de implementar programas de responsabilidad social dirigidos a las comunidades en las que opera. Mientras tanto, Grupo Argos ha integrado estas acciones en una estrategia corporativa global, impulsando proyectos de inversión sostenible, estableciendo alianzas estratégicas para financiar iniciativas verdes y fortaleciendo sus políticas ESG, lo que le ha permitido posicionarse como líder en sostenibilidad en el sector de la construcción y servicios. Estas acciones han contribuido a mejorar su acceso a mercados internacionales, atraer inversionistas interesados en criterios ambientales, sociales y de

gobernanza, y consolidar su liderazgo regional en sostenibilidad (Grupo Nutresa, 2023;Grupo Argos, 2023;Cementos Argos, 2023).

La pandemia, por ejemplo, exacerbó la volatilidad del mercado, lo que llevó a estas compañías a experimentar movimientos más erráticos en comparación con los movimientos del índice de sostenibilidad. Este comportamiento pone de relieve la vulnerabilidad de algunas compañías frente a eventos exógenos, que pueden interferir temporalmente en la relación entre sus retornos y las tendencias globales de sostenibilidad.

A partir de 2022, el análisis revela una evolución en la relación de coherencia entre las compañías y el índice, probablemente influenciada por la transición energética y la creciente demanda global de productos sostenibles. Compañías como Canacol y Promigas, particularmente en el sector energético, han mostrado una mayor alineación con el índice debido a la implementación de políticas energéticas más sostenibles y a la inversión en tecnologías limpias. Este período reciente sugiere que la consolidación de prácticas sostenibles y el reforzamiento de regulaciones ambientales están ejerciendo una influencia más profunda y estable en las compañías colombianas, especialmente en aquellas que operan en sectores sensibles a la sostenibilidad.

Según Orjuela González (2024) las políticas de transición hacia energías renovables están generando cambios estructurales significativos en las empresas colombianas, especialmente en sectores intensivos en carbono como la energía y la minería. Estas transformaciones incluyen el uso de fuentes de energía renovables, la reducción del uso de combustibles fósiles y la implementación de políticas públicas que promuevan las energías limpias. Asimismo, se destacan el desarrollo de infraestructuras sostenibles, la promoción del consumo y producción sostenibles, y la mejora de la eficiencia energética. La economía circular, el autoconsumo energético y la mejora de infraestructuras como claves para la transición. También subraya la cooperación internacional y la inversión en tecnologías limpias para reducir el impacto ambiental y fortalecer la competitividad empresarial. Estas estrategias no solo buscan reducir el impacto ambiental, sino también fortalecer la competitividad de las empresas en el mercado global, asegurando su adaptación a los estándares internacionales de sostenibilidad. Estas compañías enfrentan el desafío de diversificar sus portafolios y adoptar tecnologías más limpias para cumplir con las regulaciones y satisfacer las crecientes expectativas internacionales. Este proceso, aunque complejo, ha producido impactos diversos en términos de competitividad, riesgos y oportunidades.

Las compañías que han integrado prácticas sostenibles y adoptado energías renovables han logrado mejorar su acceso a mercados internacionales más exigentes y obtenido ventajas competitivas al atraer inversionistas alineados con criterios ESG. Esto se debe, en parte, a políticas como el Pacto Verde Europeo, que impulsa a las empresas a adoptar prácticas responsables para facilitar su integración en un mercado global regido por criterios ambientales. Además, la Agenda 2030 de las Naciones Unidas refuerza esta tendencia, promoviendo la sostenibilidad como una estrategia clave para las empresas que buscan alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el caso colombiano, la implementación de políticas públicas en energías renovables y sostenibilidad ha permitido a las empresas cumplir con estándares internacionales y fortalecer su competitividad. A largo plazo, estas iniciativas también generan beneficios financieros, como menores riesgos regulatorios y un mejor acceso a financiamiento internacional. Por el contrario, aquellas empresas que no adaptan sus modelos operativos enfrentan sanciones regulatorias, pérdida de competitividad y dificultades para acceder a recursos financieros, lo que subraya la sostenibilidad como un diferenciador estratégico clave en el entorno global actual (Orjuela González, 2024).

Estos hallazgos destacan que la sostenibilidad, como un factor clave en la percepción de valor, está transformando las dinámicas entre los mercados locales y globales. De manera consistente con los hallazgos de Andersson et al. (2022), quienes identificaron cambios temporales en la causalidad entre portafolios ESG y convencionales, el aumento de la causalidad inversa en el mediano y largo plazo sugiere que las empresas colombianas están fortaleciendo su capacidad para liderar en sostenibilidad. Estos autores subrayan que la implementación de estrategias corporativas alineadas con estándares internacionales de sostenibilidad puede fortalecer la posición de las empresas, lo que resuena con la idea de que las compañías, especialmente en mercados emergentes, pueden evolucionar hacia un liderazgo en sostenibilidad en el mediano y largo plazo. Por ejemplo, al alinearse con marcos internacionales como el Pacto Verde Europeo y la Agenda 2030 de Naciones Unidas, las compañías logran mejorar su imagen y reputación, lo que facilita su acceso a mercados globales más exigentes y atrae capital de inversionistas que valoran los criterios ESG. Además, estas estrategias se traducen en una relación más favorable entre riesgo y retorno, lo que se refleja en menores costos de capital y en una mayor atracción de inversores, consolidando así su posición competitiva en el mercado (Andersson et al. 2022; Orjuela González, 2024).

4.2. Discusiones

La investigación actual contribuye al debate sobre la relación entre los factores ESG y los retornos bursátiles, tanto en mercados emergentes como desarrollados. El análisis de las interacciones entre el índice RDJINDEX y las acciones de compañías colombianas proporciona una visión detallada de cómo estos factores afectan el desempeño financiero, en un horizonte de tiempo determinado, incluyendo períodos de alta volatilidad, como la pandemia de COVID-19 y la incertidumbre geopolítica. Al comparar estos resultados con la literatura existente, se observan similitudes y diferencias en el impacto de los factores ESG, particularmente en un mercado emergente como Colombia.

A nivel internacional, estudios como los de Kaiser & Welters (2019) y Alessandrini & Jondeau (2020) documentan que las inversiones ESG suelen ofrecer una relación más favorable entre retorno y riesgo. Este patrón se refleja en compañías colombianas como Bancolombia, Canacol y Cementos Argos, que han adoptado políticas sostenibles. Según estos estudios, la integración de criterios ESG a largo plazo puede fortalecer el valor de mercado, lo que también es visible en el comportamiento de algunas compañías colombianas, especialmente en sectores como el energético. Desde 2022, varias compañías colombianas han mostrado una mayor alineación con el índice de sostenibilidad, un fenómeno observado también en estudios como el de Zhou et al. (2022), que destaca el impacto positivo del desempeño ESG en mercados en transición.

Un hallazgo relevante en este estudio es la influencia de factores idiosincráticos, como decisiones estratégicas internas y condiciones sectoriales, durante períodos de alta volatilidad. Compañías como Cementos Argos y Nutresa han mostrado un desacoplamiento temporal con el índice RDJINDEX, lo que coincide con estudios de Oikonomou et al. (2018) y Umar et al. (2020), que sugieren que factores internos, como reestructuraciones empresariales, pueden superar temporalmente la influencia de los factores ESG, especialmente en momentos de alta incertidumbre, como durante la pandemia.

La literatura también resalta la capacidad de la Responsabilidad Social Corporativa (RSC) para reducir el riesgo, como lo señalan Harjoto & Laksmana (2018). Este aspecto es clave para comprender cómo las compañías colombianas, particularmente en sectores regulados como la minería y la energía, han respondido a la volatilidad del mercado. A pesar de que en el corto plazo factores internos o exógenos dominan el comportamiento de las compañías, a

largo plazo la integración de criterios ESG más sólidos se espera que reduzca los riesgos y fortalezca el valor de las compañías, como indican Aydoğmuş et al. (2022).

En el ámbito latinoamericano, estudios como el de Correa-García & Vásquez-Arango (2020) destacan la importancia de la adopción de criterios ESG, observando que las variables ambientales, sociales y de gobernanza, junto con el índice agregado ESG, impactan significativamente el desempeño financiero de las compañías. Los resultados actuales reflejan cómo algunas compañías colombianas, a partir de 2022, han profundizado su alineación con los factores ESG, lo que podría estar relacionado con una mayor sensibilidad a las regulaciones internacionales y las crecientes expectativas globales de sostenibilidad. Este comportamiento se ve en compañías como Canacol y Promigas, cuyas acciones muestran un alineamiento creciente con el índice RDJINDEX. Además, los hallazgos coinciden con el estudio de González et al. (2023), que observa una respuesta positiva de los mercados latinoamericanos a la emisión de bonos ESG, sugiriendo que los inversionistas valoran las señales de compromiso con la sostenibilidad. El estudio de González et al. (2023) analiza el impacto de la emisión de bonos ESG en los precios de las acciones de empresas latinoamericanas entre 2016 y 2022. Los autores encuentran que estas emisiones generan un Retorno Acumulado Anormal (CAR) positivo del 1,97%, siendo mayor en emisores primerizos (2,28%). Además, las empresas con juntas directivas más pequeñas y diversas obtienen mayores retornos, mientras que una alta concentración de propiedad los reduce. Estos hallazgos sugieren que los bonos ESG mejoran la percepción del mercado al reducir asimetrías de información, especialmente cuando existen buenos mecanismos de gobierno corporativo.

Los resultados de este estudio confirman los hallazgos de investigaciones previas sobre la integración de criterios ESG en el desempeño financiero de las compañías analizadas, principalmente aquellas más alineadas con prácticas sostenibles, ya que estas mostraron correlaciones más fuertes y estables con el índice, especialmente en el mediano y largo plazo. Este fenómeno subraya la importancia de la sostenibilidad como factor estratégico en los mercados financieros, lo cual se alinea con los estudios de Kaiser & Welters (2019) y Alessandrini & Jondeau (2020), que también encuentran que la integración de criterios ESG ofrece una relación favorable entre retorno y riesgo.

El fortalecimiento de la relación entre las acciones y el índice de sostenibilidad con el tiempo sugiere que los efectos de la sostenibilidad en los retornos bursátiles se hacen más evidentes en plazos más largos, según los resultados obtenidos de las estimaciones que fueron recopilados en la Figura 2 y la Tabla 3. Esto puede explicarse por el creciente interés de los inversionistas en los criterios ESG, que son cada vez más relevantes para las decisiones de inversión, particularmente en mercados emergentes como el colombiano. Estudios como el de Aydoğmuş et al. (2022) documentan que las compañías con puntuaciones altas en sostenibilidad tienden a obtener una mayor rentabilidad, y Martínez-Ferrero et al. (2016) apuntan que los inversionistas premian a las compañías con mejores prácticas ESG debido a su menor riesgo y mayor resiliencia.

No obstante, los resultados obtenidos muestran una notable heterogeneidad entre las acciones colombianas estudiadas. Algunas compañías tienen una relación más estrecha con el índice de sostenibilidad, posiblemente debido a la intensidad de sus prácticas sostenibles o a su exposición a riesgos ambientales y sociales específicos. Este patrón es consistente con Oikonomou et al. (2018), quienes sugieren que el desempeño en ESG varía según las características de las compañías, lo que influye en la magnitud de su relación con los índices de sostenibilidad. Las compañías más alineadas con los principios de sostenibilidad tienden a experimentar una relación más sólida con el índice, lo que refleja la creciente importancia de las prácticas responsables en la configuración de las valoraciones.

Un hallazgo interesante de este estudio es la identificación de causalidad bidireccional entre las acciones preferenciales de Cementos Argos, acciones preferenciales de Grupo SURA y acciones ordinarias de Nutresa y el índice RDJINDEX. Esto indica una dinámica más compleja en la que no solo la sostenibilidad influye en los retornos, sino que los resultados financieros sólidos de las compañías sostenibles también pueden reforzar su posición en los índices de sostenibilidad. Este fenómeno genera un efecto positivo en cadena, en el que las compañías con buen desempeño ESG atraen más inversiones, lo que refuerza su posición en el mercado y en los índices, y a su vez, este posicionamiento fortalece la relación entre los criterios ESG y los retornos financieros. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Harjoto & Laksmana (2018), quienes encuentran que un mejor desempeño en responsabilidad social corporativa está vinculado a menores niveles de riesgo y a un mayor valor de mercado.

Adicionalmente, los resultados acentúan que la sostenibilidad es un factor estratégico clave para las compañías colombianas en su relación con el índice DJSI. A largo plazo, el índice actúa como un indicador adelantado de tendencias sostenibles, mientras que eventos extraordinarios como la pandemia resaltaron la influencia de factores sectoriales e idiosincráticos en compañías como Cementos Argos, Nutresa y Grupo Argos. Desde 2022, la transición energética y las regulaciones ambientales han fortalecido la alineación de compañías como Canacol y Promigas con el índice DJSI, demostrando los beneficios financieros y competitivos de adoptar prácticas sostenibles. Sin embargo, las compañías que no se adaptan enfrentan mayores riesgos y pérdida de competitividad. La revisión de literatura respalda esta afirmación mediante diversas investigaciones. Por ejemplo, Aydoğmuş, Gülay y Ergun (2022) analizan cómo el desempeño en ESG influye en el valor y la rentabilidad de las empresas, concluyendo que aquellas con bajo rendimiento en ESG pueden enfrentar mayores riesgos financieros y una disminución en su competitividad. De igual modo, Ioannou y Serafeim (2019) sostienen que las empresas que no integran prácticas sostenibles pueden experimentar desventajas competitivas, junto con riesgos reputacionales y operativos. Finalmente, Naeem, Cankaya y Bildik (2022) concluyen que, en industrias ambientalmente sensibles, las empresas que no mejoran su desempeño ESG pueden enfrentar mayores riesgos regulatorios y una pérdida de competitividad, especialmente en mercados desarrollados. Estos hallazgos subrayan que la sostenibilidad está transformando las dinámicas entre mercados locales y globales, posicionando a las compañías colombianas para liderar en sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

En conclusión, los resultados de este estudio refuerzan las investigaciones previas y amplían la comprensión de la relación entre los factores ESG y los mercados emergentes. Las compañías colombianas que adoptan prácticas sostenibles muestran una creciente alineación con el índice de sostenibilidad DJSI a medida que se amplía el horizonte temporal. Este fenómeno se puede explicar por el mayor interés de los inversionistas en los criterios ESG, así como por la evolución de las regulaciones y políticas de sostenibilidad, que están presionando a las compañías a adoptar estos estándares. Aunque los efectos de la sostenibilidad en los retornos bursátiles se observan a largo plazo, la dinámica puede volverse más compleja en el corto plazo debido a factores internos específicos de cada compañía o sector, especialmente durante eventos extraordinarios. Este estudio resalta la necesidad de considerar tanto los factores globales como los idiosincráticos al analizar el desempeño de las compañías en mercados emergentes como el colombiano.

5. Conclusiones

Este estudio ha proporcionado evidencia significativa sobre la relación entre la adopción de prácticas ESG y los retornos de las acciones de las compañías colombianas, especialmente

aquellas incluidas en el índice DJSI. Se ha comprobado que la adopción de prácticas sostenibles impacta positivamente en los precios de las acciones, reflejando un reconocimiento por parte de los inversionistas de su valor a largo plazo y su capacidad para gestionar riesgos. Estos resultados son consistentes con teorías observadas en mercados desarrollados, aunque con matices en mercados emergentes como Colombia.

Los hallazgos sugieren que, aunque las teorías de mercados desarrollados también aplican en Colombia, existen diferencias clave. Mientras que en mercados desarrollados las inversiones ESG tienden a ofrecer una relación más favorable entre riesgo y retorno, en Colombia el impacto de las prácticas sostenibles varía dependiendo del horizonte temporal y del sector específico. A corto plazo, los factores ESG generan efectos inmediatos, particularmente en compañías con alta exposición a regulaciones internacionales. No obstante, a medida que se extiende el horizonte temporal, el impacto parece adquirir un carácter más estructural, lo que podría indicar una progresiva incorporación de las prácticas sostenibles en la valoración de las compañías, aunque este proceso puede estar influenciado por diversos factores y no necesariamente responder a un patrón uniforme.

El mercado colombiano recompensa gradualmente los esfuerzos sostenibles. Las compañías alineadas con el índice sostenible DJSI, como las de los sectores financiero y energético, experimentan un aumento sostenido en sus precios de acciones, aunque la relación no es homogénea para todos los sectores. En sectores como la construcción y la minería, los desafíos son mayores, lo que puede generar desacoplamientos en períodos de alta volatilidad, como los observados durante la pandemia de COVID-19.

Este estudio también se destaca la relevancia de las políticas regulatorias para impulsar la adopción de prácticas sostenibles en Colombia, ya que a través de estas se crean incentivos claros, promueven estándares uniformes y garantizan un entorno competitivo equitativo, impulsan la integración de criterios ESG en la estrategia empresarial, mejoran la transparencia, y fortalecen la confianza de inversionistas en mercados emergentes. Por lo anterior, se recomienda al gobierno que implemente medidas específicas, como la incorporación de criterios ESG en los procesos de licitación pública y en las políticas de financiamiento, de manera que las compañías que cumplan con estándares sostenibles puedan obtener una ventaja competitiva. Asimismo, sería beneficioso integrar principios ESG en las políticas de desarrollo económico regional y en los programas de apoyo a pequeñas y medianas compañías (PYMEs). Además, es fundamental promover programas educativos y de capacitación que fomenten la comprensión de los criterios ESG, tanto a nivel corporativo como entre los inversionistas. La educación en sostenibilidad es clave para garantizar una transición exitosa hacia modelos de negocio más responsables y orientados hacia el futuro.

En cuanto a las compañías colombianas, es importante que adapten sus enfoques de gobierno y sostenibilidad a las crecientes expectativas del mercado, ya que estas prácticas fortalecen su competitividad, mejoran su reputación y abren puertas a nuevas oportunidades de inversión. Para lograrlo, es fundamental revisar sus estructuras organizacionales e incorporar la sostenibilidad en la estrategia corporativa, integrar los factores ESG en la misión y visión empresarial, asignando objetivos claros y recursos específicos para su implementación, permite a las empresas alinearse con las demandas actuales del mercado.

Para los inversionistas colombianos e internacionales, adaptar sus estrategias a la creciente importancia de los factores ESG es esencial para mitigar riesgos, identificar oportunidades en mercados sostenibles y alinear sus portafolios con las exigencias de responsabilidad social y ambiental. Este enfoque no solo optimiza el rendimiento financiero a largo plazo, sino que también promueve la transparencia y contribuye a economías más sostenibles. Según Ahad

et al., (2024), las inversiones ESG pueden actuar como refugios seguros en ciertos escenarios globales, aunque su efectividad es limitada en mercados menos maduros, como el colombiano, donde las condiciones económicas y regulatorias presentan desafíos adicionales.

Una recomendación es diversificar hacia compañías con un fuerte compromiso con la sostenibilidad, evaluar la materialidad ESG según el sector y adoptar métricas adaptadas al contexto local. Estudios como los de Bhattacherjee et al., (2024) respaldan la relación positiva entre la integración de prácticas ESG y el rendimiento financiero, especialmente en tiempos de volatilidad. Además, los inversionistas deben colaborar con entidades regulatorias para promover la transparencia y apoyar políticas que fomenten la inversión responsable. Esto favorece un entorno normativo que respalda la sostenibilidad y facilita decisiones informadas, lo que a su vez maximiza oportunidades en mercados sostenibles.

Finalmente, la adopción generalizada de prácticas ESG, como señalan Friede et al. (2015a) y Engelhardt et al. (2021), ha demostrado mejorar el rendimiento financiero a largo plazo. En mercados emergentes como Colombia, la colaboración entre inversionistas y reguladores es crucial para superar barreras como la falta de información confiable. Bhattacherjee et al., (2024) subrayan que una regulación eficaz y la adopción de prácticas ESG fortalecen la resiliencia empresarial frente a crisis externas, lo que beneficia tanto a las empresas como a los mercados en su conjunto.

En conclusión, este estudio aporta a la literatura al demostrar que, en el mercado colombiano, las prácticas sostenibles no solo responden a demandas regulatorias y sociales, sino que también juegan un papel clave en la valorización de las compañías y en la toma de decisiones de inversión a largo plazo.

No obstante, el estudio presenta ciertas limitaciones, dado que el enfoque principal del mercado colombiano podría restringir la aplicabilidad de los resultados a otros mercados emergentes que cuenten con contextos económicos y regulatorios distintos. Asimismo, el uso exclusivo del índice DJSI para medir las prácticas ESG podría no capturar la diversidad de enfoques sostenibles adoptados por las empresas. Finalmente, la falta de datos completos sobre sostenibilidad en algunas compañías, junto con el enfoque centrado en grandes empresas, limita la representación de las pequeñas y medianas empresas en el estudio.

Finalmente, futuras investigaciones podrían ampliar este estudio incorporando una mayor cantidad de compañías y sectores, lo que permitiría obtener resultados más generalizables. Además, sería interesante explorar la influencia de otros factores, como el tamaño de la empresa, la gobernanza corporativa y el riesgo país, en la relación entre sostenibilidad y rentabilidad. También sería valioso comparar el impacto de las políticas sostenibles en otros países de América Latina o en mercados emergentes con condiciones regulatorias diferentes. Asimismo, sería relevante realizar un análisis más detallado del impacto de los criterios ESG en empresas de diferentes tamaños, especialmente las pequeñas y medianas empresas, que podrían enfrentar desafíos distintos en su implementación. Por último, investigar cómo las métricas ESG adaptadas a nivel local influyen en las decisiones de inversión y en la efectividad de las políticas regulatorias en estos mercados sería un área de gran potencial para futuras investigaciones. En este sentido, un enfoque complementario podría consistir en analizar las métricas utilizadas para otorgar el ranking ESG a las compañías colombianas, prestando especial atención a cómo las características específicas de cada sector influyen en dichas calificaciones. Este análisis permitiría no solo comprender las variaciones sectoriales dentro del contexto colombiano, sino también evaluar cómo esas métricas impactan las decisiones de inversión y la efectividad de las políticas regulatorias en un entorno económico en evolución.

Referencias Bibliográficas

Aguiar-Conraria, L., Azevedo, N., & Soares, M. J. (2008). Using wavelets to decompose the time–frequency effects of monetary policy. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *387*(12), 2863–2878. https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2008.01.063

Ahad, M., Imran, Z. A., & Shahzad, K. (2024). Safe haven between European ESG and energy sector under Russian-Ukraine war: Role of sustainable investments for portfolio diversification. *Energy Economics*, *138*, 107853. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107853

Albanés, K. A. (2022). *Caracterización de la relación entre divulgación ESG y desempeño financiero en Multilatinas : un estudio desde la perspectiva HJ-biplot y resúmenes lingüísticos inciertos*. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/32380

Alessandrini, F., & Jondeau, E. (2020). *Optimal Strategies for ESG Portfolios*. https://doi.org/https://doi.org/10.2139/SSRN.3578830

Aloui, C., & Hkiri, B. (2014). Co-movements of GCC emerging stock markets: New evidence from wavelet coherence analysis. *Economic Modelling*, *36*, 421–431. https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2013.09.043

Andersson, E., Hoque, M., Rahman, M. L., Uddin, G. S., & Jayasekera, R. (2022). ESG investment: What do we learn from its interaction with stock, currency and commodity markets? *International Journal of Finance & Economics*, *27*(3), 3623–3639. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ijfe.2341

Andreu Pinillos, A., Fernández-Fernández, J. L., & Fernández Mateo, J. (2018). Revisión crítica de la dimensión Gobierno Corporativo en los cuestionarios de los índices de Sostenibilidad. *Revista de Comunicación*, *17*, 9–40.

Aydoğmuş, M., Gülay, G., & Ergun, K. (2022). Impact of ESG performance on firm value and profitability. *Borsa Istanbul Review*, *22*, S119–S127. https://doi.org/10.1016/J.BIR.2022.11.006

Bhattacherjee, P., Mishra, S., & Bouri, E. (2024). Does asset-based uncertainty drive asymmetric return connectedness across regional ESG markets? *Global Finance Journal*, *61*, 100972. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfj.2024.100972

Bouri, E., Shahzad, S. J. H., Roubaud, D., Kristoufek, L., & Lucey, B. (2020). Bitcoin, gold, and commodities as safe havens for stocks: New insight through wavelet analysis. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, *77*, 156–164. https://doi.org/10.1016/J.QREF.2020.03.004

Brush, S. (2023, September 23). *BlackRock, State Street Among Money Managers Closing ESG Funds*. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-09-21/blackrock-state-street-among-money-managers-closing-esg-funds

Canacol Energy. (n.d.). *Reporte integrado ASG 2023*. Retrieved February 21, 2025, from https://canacolenergy.com/sustainability/our-approach/

Cementos Argos. (2023). *Reporte Integrado 2023*. https://argos.co/reporte-integrado/

Correa-García, J. A., & Vásquez-Arango, L. (2020). Desempeño ambiental, social y de gobierno (ASG): incidencia en el desempeño financiero en el contexto latinoamericano. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, *28*(2), 67–83. https://doi.org/10.18359/RFCE.4271

Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. *Ten Lectures on Wavelets*. https://doi.org/10.1137/1.9781611970104

Drempetic, S., Klein, C., & Zwergel, B. (2020). The Influence of Firm Size on the ESG Score: Corporate Sustainability Ratings Under Review. *Journal of Business Ethics*, *167*(2), 333–360. https://doi.org/10.1007/s10551-019-04164-1

Duque-Grisales, E., Aguilera-Caracuel, J., Guerrero-Villegas, J., & García-Sánchez, E. (2020). Does green innovation affect the financial performance of Multilatinas? The moderating role of ISO 14001 and R&D investment. *Business Strategy and the Environment*, *29*(8), 3286–3302. https://doi.org/10.1002/BSE.2572

Engelhardt, N., Ekkenga, J., & Posch, P. (2021). ESG Ratings and Stock Performance during the COVID-19 Crisis. *Sustainability*, *13*(13). https://doi.org/10.3390/su13137133

Esparcia, C., & Gubareva, M. (2024). ESG rating changes and portfolio returns: A wavelet analysis across market caps. *Finance Research Letters*, *63*, 105306. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105306

Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015a). ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance and Investment*, *5*(4), 210–233. https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917

Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015b). *Journal of Sustainable Finance & Investment ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies*. https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917

Gabor, D. (1946). Theory of communication. *Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part I: General*, *94*(73), 58–58. https://doi.org/10.1049/JI-1.1947.0015

Gallegati, M. (2008). Wavelet analysis of stock returns and aggregate economic activity. *Computational Statistics & Data Analysis*, *52*(6), 3061–3074. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csda.2007.07.019

González, M., Arévalo, G., Guzmán, A., & Trujillo, M.-A. (2023). The value effect of sustainability: Evidence from Latin American ESG bond market. Compliance with Ethical Standards. *SSNR*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4541665

Goodell, J. W., & Goutte, S. (2021). Co-movement of COVID-19 and Bitcoin: Evidence from wavelet coherence analysis. *Finance Research Letters*, *38*, 101625. https://doi.org/10.1016/J.FRL.2020.101625

Grupo Argos. (2023). *Reporte Integrado 2023 Grupo Argos*. https://www.grupoargos.com/sostenibilidad/reportes-integrados/

Grupo Nutresa. (2023). *Informe de Sostenibilidad 2023*. https://gruponutresa.com/sostenibilidad/nuestra-gestion-en-sostenibilidad/informes-de-sostenibilidad/

Harjoto, M., & Laksmana, I. (2018). The Impact of Corporate Social Responsibility on Risk Taking and Firm Value. *Journal of Business Ethics*, *151*(2), 353–373. https://doi.org/10.1007/S10551-016-3202-Y/TABLES/11

Hudgins, L., Friehe, C. A., & Mayer, M. E. (1993). Wavelet transforms and atmopsheric turbulence. *Physical Review Letters*, *71*(20), 3279. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.71.3279

Ioannou, I., & Serafeim, G. (2019). Corporate Sustainability: A Strategy? *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/SSRN.3312191

Jareño, F., Esparcia, C., & Fantini, G. (2024). Risk exposure in ESG-driven portfolios: A wavelet study within the tail-concerned insurance sector. *Finance Research Letters*, *67*, 105855. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105855

Kaiser, L., & Welters, J. (2019). Risk-mitigating effect of ESG on momentum portfolios. *The Journal of Risk Finance*, *20*(5), 542–555. https://doi.org/10.1108/JRF-05-2019-0075

Kakinuma, Y. (2023). ESG Equities and Bitcoin. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/SSRN.4320628

Kilic, Y., Destek, M. A., Cevik, E. I., Bugan, M. F., Korkmaz, O., & Dibooglu, S. (2022). Return and risk spillovers between the ESG global index and stock markets: Evidence from time and frequency analysis. *Borsa Istanbul Review*, *22*, S141–S156. https://doi.org/10.1016/J.BIR.2022.11.015

Leite, B. J., & Uysal, V. B. (2023). Does ESG matter to investors? ESG scores and the stock price response to new information. *Global Finance Journal*, *57*, 100851. https://doi.org/10.1016/J.GFJ.2023.100851

Leong, C. K., & Huang, W. (2010). Testing for spurious and cointegrated regressions: A wavelet approach. *Journal of Applied Statistics*, *37*(2), 215–233. https://doi.org/10.1080/02664760802638082

Manrique, S., & Martí-Ballester, C. P. (2017). Analyzing the Effect of Corporate Environmental Performance on Corporate Financial Performance in Developed and Developing Countries. *Sustainability 2017, Vol. 9, Page 1957*, *9*(11), 1957. https://doi.org/10.3390/SU9111957

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 2023, Vol. 11, Page 15*, *11*(1), 15. https://doi.org/10.3390/RISKS11010015

Marín-Rodríguez, N. J., Gonzalez-Ruiz, J. D., & Peña, A. (2024). Analyzing Fiscal Sustainability in Latin American Countries: A Time–Frequency Perspective. *Economies*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/economies12050111

Marín-Rodríguez, N. J., González-Ruiz, J. D., & Valencia-Arias, A. (2023). Sustainability, Uncertainty, and Risk: Time-Frequency Relationships. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 13589*, *15*(18), 13589. https://doi.org/10.3390/SU151813589

Martínez-Ferrero, J., Banerjee, S., & García-Sánchez, I. M. (2016). Corporate Social Responsibility as a Strategic Shield Against Costs of Earnings Management Practices. *Journal of Business Ethics*, *133*(2), 305–324. https://doi.org/10.1007/S10551-014-2399-X/TABLES/7

Mineros. (n.d.). *MEMORIA DE SOSTENIBILIDAD 2023 Transformación positiva, desde el corazón*. Retrieved February 21, 2025, from https://www.mineros.com.co/es-co/sostenibilidad/descripcion-general

Naeem, N., Cankaya, S., & Bildik, R. (2022). Does ESG performance affect the financial performance of environmentally sensitive industries? A comparison between emerging and developed markets. *Borsa Istanbul Review*, *22*, S128–S140. https://doi.org/10.1016/J.BIR.2022.11.014

Nollet, J., Filis, G., & Mitrokostas, E. (2015). Corporate social responsibility and financial performance: A non-linear and disaggregated approach. *Economic Modelling*, *52*. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.09.019

Norsworthy, J. R., Li, D., & Gorener, R. (2000). Wavelet-based analysis of time series: an export from engineering to finance. *Proceedings of the 2000 IEEE Engineering Management Society. EMS - 2000 (Cat. No.00CH37139)*, 126–132. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:62158803

Oikonomou, I., Platanakis, E., & Sutcliffe, C. (2018). Socially responsible investment portfolios: Does the optimization process matter? *The British Accounting Review*, *50*(4), 379–401. https://doi.org/10.1016/J.BAR.2017.10.003

Promigas. (n.d.). *Informe Integrado de Gestión 2023 PROmoviendo el PROgreso sostenible de Colombia y Perú*. Retrieved February 21, 2025, from https://www.promigas.com/Paginas/Sostenibilidad/ESP/ReporteIntegrado.aspx

Ramsey, J. B., & Zhang, Z. (1997). FINANCE The analysis of foreign exchange data using waveform dictionaries. *Z. Zhang / Journal of Empirical Finance*, *4*, 341–372.

Rezaee, Z. (2017). *Corporate Sustainability: Theoretical and Integrated Strategic Imperative and Pragmatic Approach. 16*(1). http:www.uvu.edu/woodbury/jbi/articles

Robledo Giraldo, S., Augusto Osorio Zuluaga, G., & López Espinosa, C. (2014). *Networking en pequeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoria de grafos Networking in Small Business: A Literature Using Graph Theory* (Vol. 11, Issue 2). http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/vinculos

Rua, A., & Nunes, L. C. (2009). International comovement of stock market returns: A wavelet analysis. *Journal of Empirical Finance*, *16*(4), 632–639. https://doi.org/10.1016/J.JEMPFIN.2009.02.002

Téllez Gaytán, J. C., & López Sarabia, P. (2010). Comovimiento entre mercados accionarios de América Latina y Estados Unidos: Un enfoque de wavelets. *Economía Teoría y Práctica*, *32*. https://doi.org/10.24275/ETYPUAM/NE/322010/TELLEZ

Terpel, O. (2023). *Informe de Gestión y Sostenibilidad 2023*. https://www.terpel.com/quienes-somos/sostenibilidad/informes-de-sostenibilidad

Torrence, C., & Compo, G. (1998). *A practical guide to wavelet analysis, Bulletin of the American Meteorological Society. 79*(1), 61–78.

Torrence, C., & Webster, P. J. (1999). Interdecadal Changes in the ENSO–Monsoon System. *Journal of Climate*, *12*(8), 2679–2690. https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2

Ulrich, E. (2016). Entendiendo las inversiones según criterios ESG. *Educación Sostenibilidad 101 - S&P Dow Jones*.

Umar, Z., Gubareva, M., Tran, D. K., & Teplova, T. (2021). Impact of the Covid-19 induced panic on the Environmental, Social and Governance leaders equity volatility: A time-frequency analysis. *Research in International Business and Finance*, *58*, 101493. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101493

Umar, Z., Kenourgios, D., & Papathanasiou, S. (2020). The static and dynamic connectedness of environmental, social, and governance investments: International evidence. *Economic Modelling*, *93*, 112–124. https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2020.08.007

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, *111*(2), 1053–1070. https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7

Vicente-Ortega, C., & Díaz Aguiluz, E. (2021). *Comparison of ESG Indexes and the Global Stock Market Student: Cristina Vicente-Ortega Martínez*. https://doi.org/http://hdl.handle.net/11531/51851

Yoon, B., Lee, J. H., & Byun, R. (2018). Does ESG Performance Enhance Firm Value? Evidence from Korea. *Sustainability 2018, Vol. 10, Page 3635*, *10*(10), 3635. https://doi.org/10.3390/SU10103635

Zhou, G., Liu, L., & Luo, S. (2022). Sustainable development, ESG performance and company market value: Mediating effect of financial performance. *Business Strategy and the Environment*, *31*(7), 3371–3387. https://doi.org/10.1002/BSE.3089