

Diversificación con fondos de inversión sostenibles

Diversification with sustainable investment funds

Luis Enrique Castillo Rodríguez *

Oscar Eduardo Reyes Nieto **

* Magíster en Finanzas. Scotiabank. Bogotá (Colombia). [lecastillor@unal.edu.co]; [<https://orcid.org/0009-0006-2796-4397>].

** M. Sc. en Finanzas, estudiante de doctorado en Ingeniería de Sistemas y Computación. Docente-investigador, Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas (ODEON), Universidad Externado de Colombia, Bogotá (Colombia). [oscar.reyes@uexternado.edu.co]; [<https://orcid.org/0000-0002-1742-8121>]

Artículo recibido: 5 de enero de 2025

Aceptado: 25 de enero de 2025

Para citar este artículo:

Castillo Rodríguez, L. E. y Reyes Nieto, O. E. (2025). Diversificación con fondos de inversión sostenibles. Odeon, 28, pp. 103-153.

DOI: <https://doi.org/10.18601/17941113.n28.06>

Resumen

En los últimos años, las inversiones sostenibles han ganado relevancia, lo que se refleja en una amplia y creciente literatura que compara su desempeño con el de las inversiones tradicionales. Este trabajo contribuye a esa literatura analizando los comovimientos entre fondos sostenibles de distintas regiones y comparándolos con los comovimientos entre índices tradicionales, con el objetivo de identificar la existencia y naturaleza de la diversificación regional en fondos sostenibles. Utilizando la metodología de descomposición de *wavelets*, se construyen portafolios regionales de fondos sostenibles y se compara su desempeño con el de portafolios de índices tradicionales en distintos horizontes temporales. Los resultados revelan que los fondos sostenibles, en la mayoría de los casos, ofrecen oportunidades adicionales de diversificación, más allá de la diversificación regional tradicional. Los resultados también evidencian cómo estas oportunidades se fortalecen con horizontes temporales más amplios.

Palabras clave: fondos sostenibles; coherencia wavelet; diversificación.

Códigos JEL: G11; G14; G15.

Abstract

In recent years, sustainable investments have gained prominence, as reflected in a broad and growing body of literature comparing their performance to that of traditional investments. This study contributes to this literature by analyzing the co-movements between sustainable funds from different regions and comparing them with the co-movements among traditional indices, aiming to identify the existence and nature of regional diversification in sustainable funds. Using the wavelet decomposition methodology, regional portfolios of sustainable funds are constructed and their performance is compared to that of traditional index portfolios across different time horizons. The findings reveal that sustainable funds, in most cases, provide additional diversification opportunities beyond traditional regional diversification. The results also demonstrate that these opportunities become more pronounced over longer time horizons.

Key words: Sustainable funds, wavelet coherence, diversification.

JEL classification: G11; G14; G15.

Introducción

De acuerdo con Billio *et al.* (2021), eventos recientes como el cambio climático y la crisis *subprime* de 2008 han despertado el interés de diversos agentes del mercado en incorporar criterios de sostenibilidad ambiental, social y de gobierno corporativo (ESG - Environmental, Social and Governance) en sus procesos de toma de decisiones. Así mismo, la inversión sostenible busca alinear valores y principios éticos con las estrategias de inversión, integrando además una perspectiva intertemporal. Según Ortiz de Mandojana y Bansal (2016), muchos de los beneficios de la inversión sostenible se materializan a largo plazo, aunque puedan no ser evidentes en el corto plazo.

Por su parte, Roncalli (2022) clasifica las motivaciones para incluir criterios ESG en los procesos de inversión en dos grandes grupos: el primero relacionado con el “principio de no dañar” y el segundo enfocado en los principios de inversión. El primer grupo fundamenta las motivaciones en los valores y principios éticos del inversionista y en cómo estos deben orientar la relación de las empresas con el medio ambiente y la sociedad. Este grupo abarca motivaciones como la sostenibilidad económica, los valores éticos y morales, y la presión social.

El segundo grupo, por su parte, se centra en el desempeño financiero de las empresas que integran criterios ESG en sus operaciones en comparación con aquellas que no lo hacen. Al respecto, Zhan (2023) encuentra una relación positiva entre el desempeño en criterios ESG y el desempeño financiero de las empresas explicado por dos factores principales: en primer lugar, las empresas con buen desempeño ESG se benefician de la “innovación verde”, que no solo hace sus productos y servicios más atractivos, sino que también reduce costos de producción, promoviendo un uso eficiente de los recursos. En segundo lugar, un buen desempeño en ESG genera una ventaja reputacional frente a los competidores, lo que se traduce en mejores relaciones con consumidores, proveedores e incluso en un acceso más favorable a financiamiento.

Ortiz de Mandojana y Bansal (2016) sostienen que las empresas con buen desempeño ESG tienden a reducir la volatilidad financiera, mejorar su crecimiento y presentar mayores tasas de supervivencia a largo plazo. Al incorporar mejores prácticas en su relación con el ambiente y las comunidades, estas empresas logran anticiparse, adaptarse y responder mejor ante los riesgos asociados, lo que disminuye la volatilidad financiera.

Con el objetivo de facilitar la transición hacia inversiones más sostenibles, en marzo de 2018 la Unión Europea lanzó el Plan de Acción de Finanzas

Sostenibles. Según Busch (2023), uno de los elementos clave de este plan es el establecimiento de una taxonomía verde que clasifica actividades e inversiones de acuerdo con los pilares ambientales, sociales y de gobierno corporativo. En la Regulación sobre Divulgación de Finanzas Sostenibles (SFDR - Sustainable Finance Disclosure Regulation) emitida en 2021, la Unión Europea presenta tres artículos que clasifican el alcance sostenible de las inversiones.

Según Busch (2023), el artículo 9 de la SFDR agrupa las inversiones cuyo objetivo es explícitamente la sostenibilidad. El artículo 8, por su parte, abarca inversiones que promueven la sostenibilidad y consideran los criterios ESG, aunque no lo tengan como su objetivo principal. Finalmente, el artículo 6 clasifica los productos que ni promueven la sostenibilidad ni la tienen como meta.

Con estas regulaciones, el mercado ha visto la conformación de fondos de inversión compuestos por activos clasificados dentro de los artículos 8 y 9 como una alternativa para clasificar el impacto y el objetivo de los activos en lo respectivo a la sostenibilidad, facilitando así al inversionista la identificación de activos que se encuentren alineados con sus objetivos en este rubro. De esta manera, diversas compañías de gestión de fondos han desarrollado productos enfocados en la inversión sostenible en respuesta a este tipo de normativas u otras iniciativas. En este contexto se alinea el presente trabajo, que busca analizar los comovimientos de cinco fondos de inversión sostenible que abarcan activos representativos de cinco regiones y los compara con índices tradicionales de esas mismas regiones, con el objetivo de identificar oportunidades de diversificación y analizar si estas se deben a la diversificación regional en sí o al carácter sostenible de los fondos. La novedad del presente trabajo radica en la implementación de la coherencia de *wavelets* para comprender si los fondos sostenibles tienen capacidad de diversificación por sus carácter de activos sostenibles.

Adicional a esta introducción, se presenta una revisión de literatura concerniente al estudio de la diversificación con fondos y activos sostenibles. Posteriormente, en la segunda sección, se presenta el marco teórico del trabajo, compuesto por una exposición del modelo de media varianza de Markowitz y el enfoque de Sharpe, además de una presentación de la teoría de *wavelets*, la descomposición *wavelet* (continua y discreta) y la coherencia de *wavelet*. En la tercera parte se presentan los datos que se van a utilizar en el estudio y los resultados de algunos análisis descriptivos. En la cuarta sección se desarrollan la metodología y sus resultados, iniciando con el análisis de coherencia de *wavelets*, para luego analizar la composición de portafolios óptimos en el

sentido media-varianza en los horizontes de tiempo usando la descomposición *wavelet*. En la sexta sección se presentan las conclusiones principales del estudio y algunas líneas de investigación derivadas del presente trabajo.

1. Revisión de literatura

En años recientes, la incorporación de criterios ESG y aquellos de sostenibilidad en general en la conformación de portafolios de inversión ha ganado relevancia en la literatura académica, con argumentos tanto éticos como financieros donde resaltan autores como Roncalli (2022). Sin embargo, los estudios que abordan este tema han mostrado resultados diversos.

Un primer grupo de autores no encuentra evidencias significativas de diferencias en el desempeño de los portafolios que incorporan criterios ESG en comparación con los portafolios tradicionales (Henriksson *et al.*, 2019; Naffa y Fain, 2022; Ortas *et al.*, 2014; Utz *et al.*, 2014). En cambio, un segundo grupo de estudios, señalan que los portafolios ESG presentan menores niveles de retorno esperados (Gasser *et al.*, 2017; Pedersen *et al.*, 2021; Zapata, 2022).

Estudios previos han analizado el desempeño de activos sostenibles en portafolios construidos bajo el modelo Media-Varianza (MV) de Markowitz (Markowitz, 1952; Stuart y Markowitz, 1959), evaluando tanto los retornos esperados como el riesgo asociado. En este último aspecto, algunos autores han investigado si los activos y portafolios sostenibles ofrecen mayores o menores oportunidades de diversificación del riesgo en comparación con los activos convencionales.

En esta línea, Ivanisevic Hernaus (2019), mediante técnicas de clustering, explora las estrategias utilizadas por fondos en la selección de activos socialmente responsables, considerando tanto el tipo de estrategia (*screening* positivo, negativo, temático, etc.) como su intensidad. El estudio encuentra que los fondos con una variedad de estrategias de selección tienden a obtener mejores resultados en comparación con aquellos con enfoques homogéneos, incluso si la intensidad de los filtros aplicados es alta.

De forma similar, Folqué *et al.* (2021) concluyen que los fondos que aplican únicamente filtros negativos obtienen menores puntajes ESG y mayores emisiones de carbono en comparación con fondos que emplean otras estrategias, destacando la importancia de seleccionar métodos de inversión adecuados para gestionar riesgos de sostenibilidad.

Por otra parte, Maxfield y Wang (2021) investigan el impacto de las inversiones sostenibles en la mitigación de riesgos (sistémico, idiosincrático y total) mediante un panel de fondos estadounidenses. Sus hallazgos muestran que los fondos con altas calificaciones de sostenibilidad presentan menor riesgo, incluso al controlar otras características. En línea con estos resultados, Gouler y Utz (2020) encuentran que los portafolios con mayores puntajes ESG presentan un desempeño de mercado similar al ajustarse por riesgo, aunque con menor exposición al riesgo idiosincrático.

Algunos estudios comparan el desempeño y riesgo de los portafolios sostenibles con sus contrapartes tradicionales. Bello (2005), por ejemplo, compara fondos socialmente responsables con fondos convencionales similares en activos netos y encuentra que, en términos de diversificación y desempeño de largo plazo, no existen diferencias significativas. De hecho, ambos tipos de fondos tuvieron un rendimiento inferior a los principales índices de mercado durante el periodo de enero de 1994 a marzo de 2001.

Asimismo, Becchetti *et al.* (2015) comparan el desempeño de fondos socialmente responsables con sus pares convencionales en distintos mercados entre 1992 y 2012, identificando cambios en la relación de liderazgo entre estos estilos de inversión. Además, observan que las inversiones sostenibles actuaron como “aseguradoras” durante la crisis financiera de 2007, mostrando mejor desempeño que los fondos convencionales.

Otros autores analizan las oportunidades de diversificación al introducir activos sostenibles en portafolios convencionales. Miralles-Quirós *et al.* (2019) exploran el uso de seis ETF (Exchange Traded Fund) sostenibles junto con un ETF de acciones y un ETF de bonos convencionales en portafolios, y concluyen que la inclusión de estos ETF, especialmente los relacionados con trabajo decente y crecimiento económico, mejora el desempeño en comparación con portafolios formados solo por bonos y acciones convencionales.

Rehman *et al.* (2021), utilizando análisis por cuantiles para observar correlaciones entre fondos sostenibles y *commodities* energéticos en diferentes plazos, encuentran que existen oportunidades de diversificación entre estos activos en el corto plazo, especialmente en situaciones de estrés de mercado, aunque estas oportunidades no se observan en el mediano y largo plazo.

Por otro lado, Díaz *et al.* (2022) encuentran que los activos de energías limpias son herramientas efectivas para mitigar el riesgo durante periodos de alta volatilidad, como la pandemia de covid-19, mejorando también a su vez el desempeño de los portafolios.

En estudios de correlaciones dinámicas, Balcilar *et al.* (2017) destacan que combinar activos sostenibles y convencionales puede mejorar el perfil riesgo-retorno del portafolio, mientras que Jain *et al.* (2019), empleando modelos ARCH-GARCH y pruebas de cointegración, concluyen que los índices ESG y los convencionales se encuentran integrados, lo que sugiere que los primeros pueden ser alternativas viables para los inversionistas. Asimismo, estudios como el de De Sousa Gabriel y Rodeiro-Pazos (2018) exploran cinco segmentos de inversión ambiental, encontrando que no existen relaciones de equilibrio de largo plazo entre ellos, sugiriendo así posibles oportunidades de diversificación.

Finalmente, en la diversificación a nivel regional, trabajos como el de Cunha *et al.* (2020) comparan cinco índices sostenibles de Dow Jones y encuentran que, aunque los desempeños son heterogéneos, existen oportunidades de diversificación en algunas regiones. Por otro lado, Bahlous y Mohd. Yusof (2014) encuentran que los inversionistas pueden beneficiarse de diversificar en fondos islámicos regionales, especialmente en el largo plazo, aunque las oportunidades de diversificación entre Europa y Norteamérica son limitadas.

De especial interés para el presente estudio son los trabajos de Rehman y Vo (2020) y Ul Haq *et al.* (2023), que aplican la metodología de análisis de coherencia wavelet. Rehman y Vo (2020) analizan las correlaciones wavelet en fondos sostenibles, encontrando oportunidades de diversificación en distintos horizontes de tiempo. Por su parte, Ul Haq *et al.* (2023) analizan el índice de Bonos Verdes de SyP y criptomonedas sostenibles, y encuentran que los bonos verdes muestran patrones heterogéneos en su correlación con criptomonedas, lo cual sugiere oportunidades de diversificación en portafolios que los incluyan.

2. Marco teórico

2.1 Modelo Media Varianza de Markowitz y Sharpe

La teoría moderna de la selección de portafolios se encuentra fundamentada en los trabajos de Markowitz (1952) y Stuart y Markowitz (1959), en los cuales, de acuerdo con la formulación expuesta por Zapata (2022), se parte de un conjunto de N activos riesgosos, donde para cada activo $i \in N$, la variable aleatoria R representa al vector de sus retornos históricos, $E(R_i) = \mu_i$. Adicionalmente, la matriz R tiene asociada una matriz Σ de varianzas y covarianzas como se presenta en la ecuación (1).

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde σ_{ij} es la covarianza entre los activos i y j , para todo $i \neq j$. En el caso en que se tiene la varianza de dicho activo.

Así, un inversionista averso al riesgo se enfrenta al desafío de seleccionar los pesos de cada activo de manera óptima dentro de su portafolio. Este tipo de inversionista se caracteriza por un comportamiento que maximiza su utilidad esperada, representada en este caso por el nivel de retornos esperados del portafolio. Sin embargo, su aversión al riesgo introduce una dimensión adicional al problema: el riesgo, que se mide mediante la varianza de los retornos de los activos en su portafolio. Por lo tanto, el problema del inversionista es minimizar el riesgo del portafolio, sujeto a la restricción de alcanzar un cierto nivel de retorno esperado.

Para abordar este problema, se asume que los retornos de los activos siguen una distribución normal. De este modo, el problema que debe resolver el inversionista se puede plantear de acuerdo con la ecuación (2).

$$\min_w \{w' \Sigma w\} \text{ s. a. } w' 1 = 1 \text{ y } w' \mu = \mu_0 \quad (2)$$

Donde w es el vector de los pesos de cada activo dentro del portafolio, de manera que $w' \Sigma w$ representa la varianza (riesgo) del portafolio, y $w' 1 = 1$ es la restricción presupuestaria del inversionista, que asegura que la suma de los pesos de los activos sea igual a 1. La restricción $w' \mu = \mu_0$ por su parte, establece el nivel mínimo de retorno esperado que el inversionista desea obtener del portafolio.

La solución de este problema, mediante técnicas de programación cuadrática, permite obtener la frontera eficiente en el sentido media-varianza, es decir, aquellos portafolios que presentan el menor riesgo para un nivel de retorno dado, según la formulación descrita en (2).

Sin embargo, surge entonces la pregunta de cómo seleccionar un portafolio dentro de la frontera eficiente. De acuerdo con Sharpe (1964), se debe incorporar al problema una tasa libre de riesgo como referencia. De este modo, el inversionista no maximizará solo el retorno de su portafolio, sino que se enfocará en maximizar el exceso de retorno esperado de este en relación con la tasa libre de riesgo, minimizando a la vez el riesgo asociado al portafolio seleccionado.

Así, el *ratio* de Sharpe incorpora este exceso de retorno y el riesgo del portafolio en una única medida. De este modo, el problema que debe resolver el inversionista es representado en la ecuación (3), como la maximización del *ratio* de Sharpe sujeto a una restricción presupuestaria (Sharpe, 1964). Adicionalmente, la restricción sobre las ventas en corto puede ser incorporada al problema de maximización de portafolio.

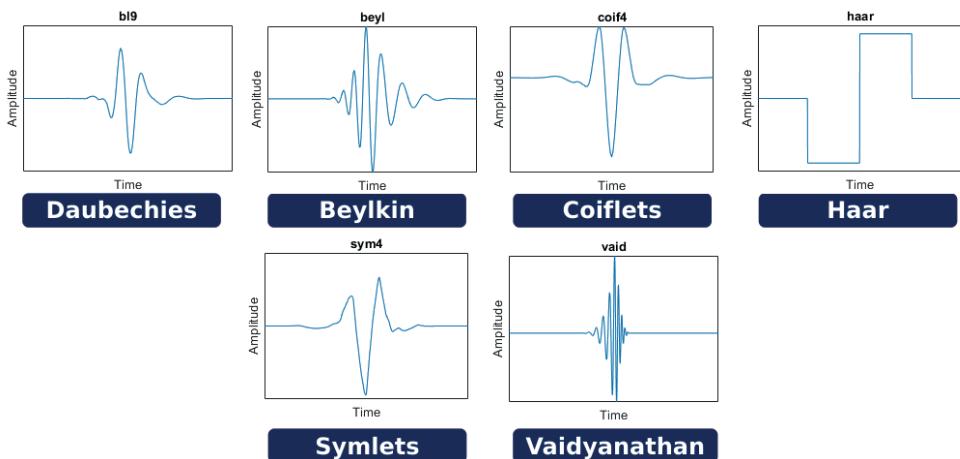
$$\max_w \{ \vartheta: \frac{(\mu - r_f)^\top w}{\sqrt{w^\top \Sigma w}} \} \text{ s. a. } w^\top 1 = 1 \quad (3)$$

De esta manera, el inversionista logra un portafolio óptimo que considera no solo la obtención del máximo retorno esperado, sino también el riesgo asumido para lograrlo, en otras palabras, considera la alternativa de inversión con el mayor retorno por unidad de riesgo asumido.

2.2 Teoría de wavelets

Las *wavelets* son, según Rosso *et al.* (2001), pequeñas funciones que dependen de tres parámetros básicos: la escala, la posición y el tiempo. De acuerdo con Percival y Walden (2007), estas funciones presentan ondulaciones que se desvanecen, es decir, son compactas, a diferencia de funciones como el seno, que ondulan indefinidamente desde y hasta el infinito. En la figura 1 se representan algunas funciones *wavelet* conocidas.

Figura 1. Ejemplos de *wavelets*



Fuente: tomado de Mathworks (2024).

2.2.1 Transformada wavelet continua (cwt)

De acuerdo con Percival y Walden (2007), las funciones *wavelet* deben cumplir esencialmente dos propiedades básicas representadas por las ecuaciones (4) y (5), donde ψ es la función *wavelet*.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(t) dt = 1 \quad (5)$$

La ecuación (4) significa que las desviaciones de la función respecto a cero deben cancelarse entre sí, mientras que la ecuación (5) implica que la función debe presentar una energía unitaria, es decir, debe tener desviaciones de cero. En resumen, una *wavelet* es una función que oscila, pero cuyas oscilaciones ocurren en un intervalo definido. Sin embargo, para que las *wavelets* sean útiles en el análisis de series temporales, deben cumplir una condición adicional representada por la ecuación (6), donde C_ψ es la transformada de Fourier de la función *wavelet* ψ , que a su vez viene definida por la ecuación (7).

$$C_\psi \equiv \int_0^\infty \frac{|\psi(f)|^2}{f} df \text{ satisface } 0 < C_\psi < \infty \quad (6)$$

$$\psi(f) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) e^{-2\pi f t} dt \quad (7)$$

La condición sobre C_ψ que describe la ecuación (6) permite la reconstrucción de una serie o función $x(\cdot)$ a partir de su transformación *wavelet*. Esta transformación *wavelet* continua de una serie $x(\cdot)$ es, según Gençay *et al.* (2002), una proyección de la función de interés $x(\cdot)$ sobre una *wavelet* particular ψ como se enuncia en la ecuación (8).

$$W(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{u,s}(t) dt \quad (8)$$

Y donde la función $\psi_{u,s}(t)$ es la *wavelet* madre que viene representada por la ecuación (9). Así, la *wavelet* madre depende del factor tiempo, del parámetro u que controla su posición en el tiempo, y del parámetro s que expande y contrae la función para capturar mejor las frecuencias bajas o altas.

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (9)$$

De esta forma, al trasladar la función en el tiempo y ajustarla en escala, se obtiene la descomposición de la serie en componentes que dependen solo de los parámetros u y s . Si la función *wavelet* cumple con la condición de admisibilidad sobre C_ψ descrita en la ecuación (6), entonces puede formularse la ecuación (10) que muestra cómo puede reconstruirse la serie original a partir de la descomposición *wavelet*.

$$x(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty W(u, s) \psi_{u,s}(t) du \frac{ds}{s^2} \quad (10)$$

2.2.2 Transformada *wavelet* discreta de máximo traslape (MODWT¹)

Estimar la transformada de *wavelet* continua, aun cuando es posible, genera mucha información redundante, por lo que la transformada *wavelet* discreta (DWT) genera menos información extra al tomar solo unas pequeñas dilataciones y traslaciones de la *wavelet* madre. Así, en cada iteración del filtro, la transformada de *wavelet* discreta “desecha” la mitad de los datos que pasaron y solo ejecuta el siguiente filtro sobre la mitad de la información.

La transformada de *wavelet* discreta de máximo traslape (MODWT) es otra manera de discretizar la transformación, en la cual, en vez de desechar la mitad de los datos en cada escala, se realizan todas las traslaciones posibles sobre toda la serie, obteniendo así, en cada nivel de descomposición de la serie, el mismo número de traslaciones.

Si bien esta transformación genera mayor nivel de información en cada nivel de detalle que la transformada de *wavelet* discreta, según Téllez Gaytán *et al.* (2010) la MODWT presenta cuatro ventajas.

- i. La MODWT se puede implementar en cualquier tamaño de muestra, mientras que la DWT solo se puede implementar en tamaños de muestra de tipo diádico, esto es, .
- ii. Al analizar los diferentes niveles de detalle es posible alinear los eventos ocurridos en la serie original con el respectivo momento en el detalle.
- iii. Si la serie de datos original se desplaza en algún valor, la MODWT se desplazará en el mismo monto.
- iv. El análisis de varianza obtenido de la MODWT es asintóticamente más eficiente que el obtenido por la DWT.

¹ MODWT - Maximum Overlap Discrete Transform, es una técnica de transformación *wavelet* discreta que evita el *downsampling* en la discretización a costo de generar redundancia en la información.

Una propiedad importante de la MODWT mencionada por Gençay *et al.* (2002) es que esta es una transformación que captura perfectamente la varianza. Así, la varianza de una serie puede ser descompuesta mediante la expresión representada por la ecuación (11).

$$\|x\|^2 = \sum_{j=1}^J \left\| \bar{w}_j \right\|^2 + \left\| \bar{v}_j \right\|^2 \quad (11)$$

Donde \bar{w}_j representa el vector de coeficientes de la MODWT asociados a la escala $2j - 1$ y \bar{v}_j representa el vector de coeficientes MODWT de la escala $2J$. Un estimador insesgado de la varianza, utilizando los coeficientes de *wavelet*, puede ser como el que se expone en la ecuación (12).

$$\sigma_x^2(\lambda_j) = \frac{1}{\tilde{N}_j} \sum_{t=L_j-1}^{N-1} \bar{w}_{j,t}^2 \quad (12)$$

Donde $L_j = (2j - 1)(L - 1) + 1$ es el largo del filtro *wavelet* de la escala λ_j y $\tilde{N}_j = N - L_j + 1$ es el número de coeficientes no afectados por las condiciones de borde. La definición de la ecuación (12) se puede extender para obtener un estimador insesgado de la covarianza entre dos series en términos de sus coeficientes de *wavelet*. Así, para dos series x_1 y x_2 se tiene la expresión dada por la ecuación (13).

$$\bar{\gamma}_x(\lambda_j) = \frac{1}{\tilde{N}_j} \sum_{l=L_j-1}^{N-1} \overline{w_{1,j,l}} \overline{w_{2,j,l}} \quad (13)$$

Ahora, si se quiere calcular la covarianza de una serie con otra serie rezagada, el estimador por utilizar será como se expone en la ecuación (14).

$$\bar{\gamma}_{x,\tau}(\lambda_j) = \begin{cases} \frac{1}{\tilde{N}_j} \sum_{l=L_j-1}^{N-\tau-1} \overline{w_{1,j,\tau}} \overline{w_{2,j,l+\tau}} , & \text{para } \tau = 0, \dots, \tilde{N}_j - 1 \\ \frac{1}{\tilde{N}_j} \sum_{l=L_j-1-\tau}^{N-1} \overline{w_{1,j,\tau}} \overline{w_{2,j,l+\tau}} , & \text{para } \tau = -1, \dots, -(\tilde{N}_j - 1) \\ 0 , & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (14)$$

Dado lo anterior, se obtienen también expresiones para la correlación *wavelet* y la correlación cruzada *wavelet*. La correlación *wavelet* estará expresada como se evidencia en la ecuación (15), mientras la correlación cruzada se calcula como se expone en la ecuación (16).

$$\overline{\rho_X}(\lambda_j) = \frac{\overline{r_X}(\lambda_j)}{\sigma_1^2(\lambda_j)\sigma_2^2(\lambda_j)} \quad (15)$$

$$\overline{\rho_{X,\tau}}(\lambda_j) = \frac{\overline{r_{X,\tau}}(\lambda_j)}{\sigma_1^2(\lambda_j)\sigma_2^2(\lambda_j)} \quad (16)$$

2.2.3 Coherencia de *wavelet*

Una forma de identificar la magnitud de los comovimientos entre dos series en las distintas escalas es mediante el análisis de la coherencia de *wavelet*. Al respecto, Torrence y Compo (1998) desarrollan esta métrica definiendo la coherencia de *wavelet* de acuerdo con la ecuación (17).

$$R^2(u, s) = \frac{|A[s^{-1}W_{a,b}(u,s)]|^2}{A[s^{-1}|W_a(u,s)|^2]A[s^{-1}|W_b(u,s)|^2]} \quad (17)$$

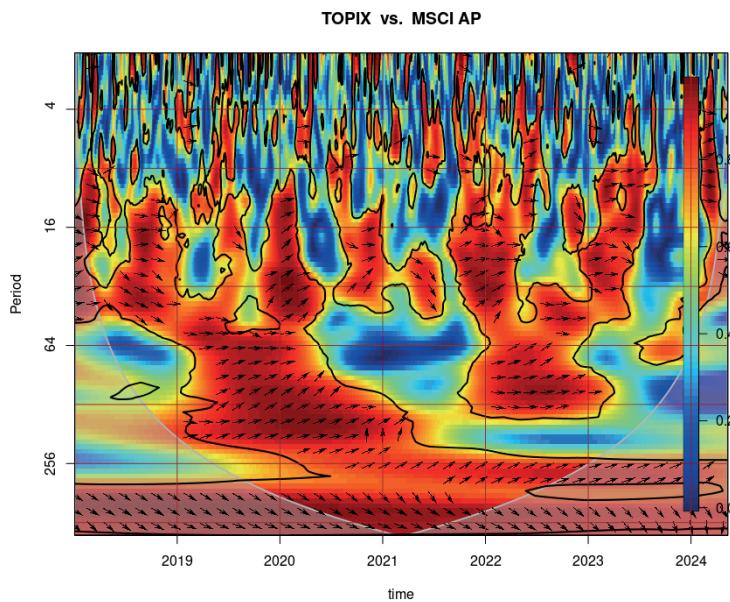
Donde $W_a(u, s)$ y $W_b(u, s)$ representan las transformadas continuas de *wavelets* para dos series a y b , donde s y u son los factores de escala y posición. Por su parte, A corresponde a un operador de suavizamiento. De esta manera, el indicador varía entre 0 y 1, y aun cuando da cuenta de la magnitud de los comovimientos, no lo hace en cuanto a su dirección. Al respecto, los autores Torrence y Compo (1998) describen un indicador denominado diferencia de fase, definido como se observa en la ecuación (18).

$$\phi_{a,b}(u, s) = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Im}\{A(s^{-1}W^{a,b}(u,s))\}}{\text{Re}\{A(s^{-1}W^{a,b}(u,s))\}}\right) \quad (18)$$

Donde Im es la parte imaginaria de la suavización de la transformación cruzada de *wavelet*, y Re la parte real. Para ilustrar este análisis, la figura 2 presenta un ejemplo del análisis de coherencia de *wavelets* entre las series del índice TOPIX de Japón y el MSCI Asia Pacífico Ex Japón.

De acuerdo con Ul Haq *et al.* (2023), el análisis de coherencia típicamente ofrece como resultado una gráfica en la cual la intensidad del color refleja la magnitud del comovimiento. El contorno oscuro, que delimita algunas regiones de la gráfica, indica que las regiones de coherencia son significativas al 5%. La línea sólida de color gris en forma de U es el cono de influencia. A su vez, la gráfica presenta flechas que indican la dirección del movimiento y qué serie lleva el papel de líder dentro de la misma.

Figura 2. Coherencia de *wavelets* entre el Índice TOPIX y el MSCI Asia Pacífico Ex Japón



Fuente: elaboración propia.

Las flechas “ \leftarrow ” y “ \rightarrow ” representan respectivamente movimientos fuera de fase y dentro de fase, mientras que las flechas “ \blacktriangleright ” y “ \blacktriangleleft ” significan que la primera serie guía el movimiento de la segunda. Viceversa, las flechas “ \blacktriangleright ” y “ \blacktriangleleft ” significan que la segunda serie guía el comovimiento. En este ejemplo, si se invirtiera el orden de los activos (MSCI AP vs. TOPIX), las flechas “ \blacktriangleright ” de la gráfica original se volverían “ \blacktriangleleft ” indicando un movimiento en fase en el que la segunda serie (TOPIX) guía a la primera (MSCI AP), obteniendo así la misma interpretación.

Finalmente, el eje izquierdo representa la frecuencia 4 días, 16 días, 64 días y 256 días. Así, para el presente trabajo, el corto plazo estará en frecuencias menores a 16 días, el mediano plazo estará en frecuencias entre 16 y 64 días y el largo plazo se encontrará en frecuencias superiores a 64 días.

3. Datos y metodología

Para la construcción del modelo se seleccionaron cinco fondos sostenibles, representativos de cinco regiones o países: Japón, Asia Pacífico excluyendo Japón,

Europa, Estados Unidos y Latinoamérica. La selección se realizó consultando las administradoras de fondos más representativas del mercado como son BlackRock, Vanguard, State Street Global, Fidelity, etc. Sin embargo, en la revisión realizada se identificó que Fidelity es la única de las firmas consultadas que ofrece fondos sostenibles diferenciados por región. La tabla 1 expone los cinco fondos de Fidelity seleccionados como representativos regionales. Estos fueron escogidos de acuerdo con su carácter sostenible y porque incorporan activos específicos de cada región.

Tabla1. Fondos regionales sostenibles Fidelity

Fondo	Descripción
LU0048585144	Fidelity Sostenible Japón
LU0048597586	Fidelity Sostenible Asia Pacífico Ex Japón
LU0238202427	Fidelity Sostenible Eurozona
LU0346390437	Fidelity Sostenible USA
LU0050427557	Fidelity Sostenible Latinoamérica

Fuente: elaboración propia.

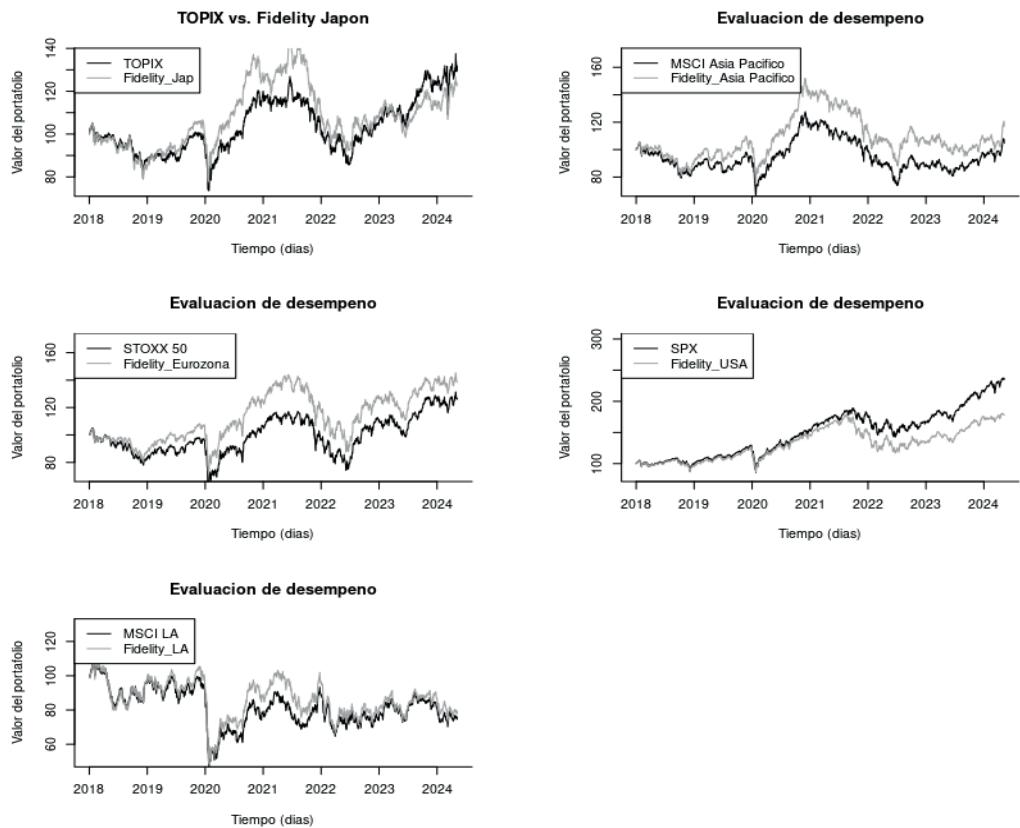
3.1 Datos

El periodo de análisis considerado va del 4 de enero de 2018 al 9 de octubre de 2024, con una periodicidad diaria. La información fue obtenida a través de la plataforma de Refinitiv. Para realizar el análisis comparativo con índices de referencia tradicionales, se incluyeron los precios diarios de índices convencionales de las mismas cinco regiones: Japón (TOPIX), Asia Pacífico Ex Japón (MSCI AP), Europa (STOXX50), Estados Unidos (SPX) y Latinoamérica (MSCI LA), los cuales representan los principales *benchmarks* regionales. Este análisis comparativo se realizó con datos correspondientes a la misma ventana de tiempo, lo cual permitió obtener una base de datos compuesta por 1.653 observaciones diarias para cada uno de los cinco fondos sostenibles y los cinco índices tradicionales.

3.1.1 Resumen comparativo de fondos e índices

La figura 3 muestra el desempeño de una inversión hipotética de 100 unidades monetarias al inicio del periodo en cada fondo sostenible y en cada índice tradicional de las distintas regiones.

Figura 3. Desempeño de cada índice y fondo



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, los fondos sostenibles de Fidelity muestran un desempeño superior en comparación con el *benchmark* tradicional en las regiones de Asia Pacífico y Europa. Sin embargo, en Estados Unidos, después de la pandemia, el fondo sostenible que inicialmente tenía un comportamiento similar al *benchmark* fue superado por este último.

En cuanto a las regiones de Japón y Latinoamérica, el comportamiento entre el fondo sostenible y el *benchmark* tradicional es dispar. En Japón, el fondo sostenible supera al índice tradicional únicamente durante el periodo pospandemia, que abarca desde 2020 hasta mediados de 2022, e incluso al final de la muestra. Sin embargo, a partir de mediados de 2023, el fondo sostenible comienza a ser superado por el *benchmark* tradicional. En Latinoamérica, el desempeño del

fondo sostenible y del índice tradicional es más cercano; el fondo sostenible supera al *benchmark* entre 2020 y 2022.

De esta manera, se calcularon los retornos logarítmicos diarios para los precios de los fondos sostenibles y de los índices tradicionales. La tabla 2 presenta los principales estadísticos descriptivos de estos retornos.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de los retornos

Region	Index		Found		Return Excess
	Mean	SD	Mean	SD	Mean
Japón	0,0002	0,0121	0,0002	0,0116	0,0000
Asia Pacífico Ex Japón	0,0001	0,0107	0,0002	0,0119	0,0001
Eurozona	0,0002	0,0138	0,0003	0,0129	0,0001
USA	0,0006	0,0127	0,0004	0,0120	-0,0002
Latinoamérica	0,0000	0,0174	0,0000	0,0182	0,0000

Fuente: elaboración propia.

En las regiones de Asia Pacífico y Europa, el valor esperado del exceso de retornos del fondo frente al índice es del 0,01%. En contraste, en Estados Unidos, la media del exceso de retornos es 0,02%. En Japón y Latinoamérica, los excesos de retornos son 0, sin embargo, es notable que en Latinoamérica el retorno esperado es 0, mientras que en Japón es de 0,02%.

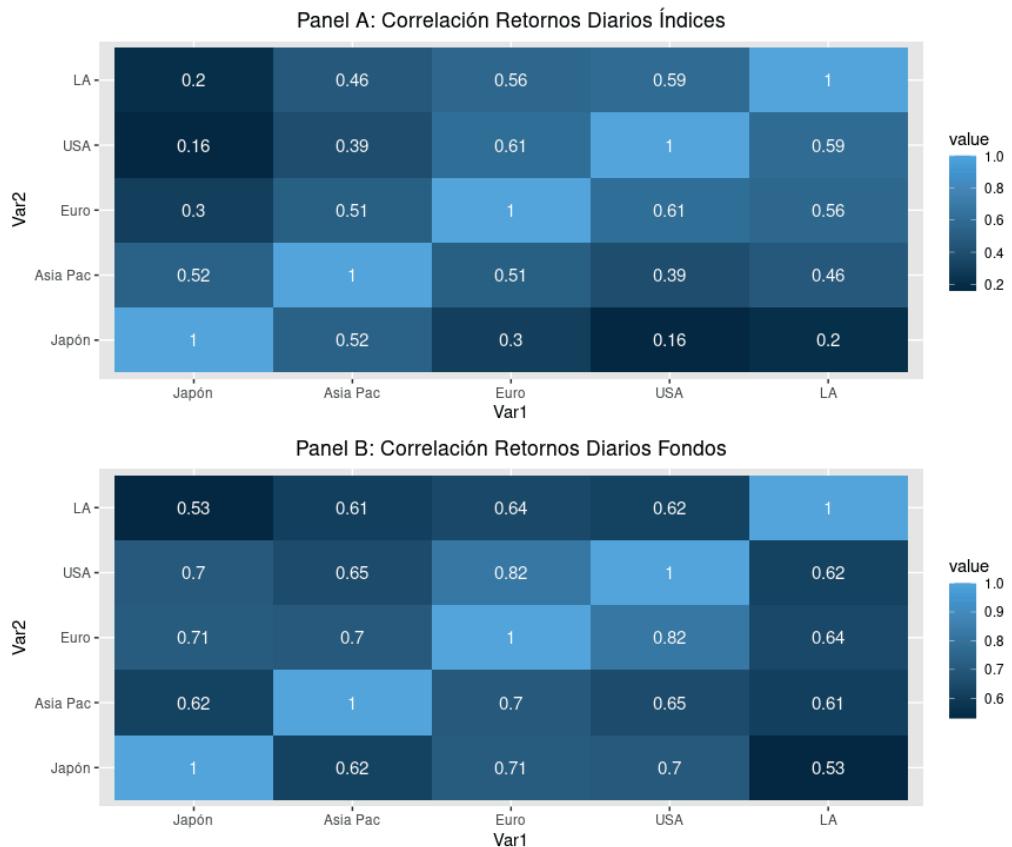
Con relación al riesgo de los instrumentos, medido en términos de la volatilidad de los retornos, se observa que en Japón, Europa y Estados Unidos, la desviación de los retornos del índice tradicional es mayor que la del fondo sostenible. En Japón, la desviación del TOPIX es de 1,21%, mientras que la del fondo sostenible es de 1,16%. En la Eurozona, la desviación del STOXX50 es de 1,38%, en comparación con la del fondo sostenible, que es de 1,29%. En Estados Unidos, la desviación del SPX es del 1,27%, mientras que la del fondo sostenible es de 1,20%.

Por otro lado, en Asia y Latinoamérica, la desviación estándar del fondo sostenible es mayor que la del índice tradicional. En Asia, la desviación del fondo sostenible es de 1,19%, en comparación con el *benchmark*, que tiene una desviación de 1,07%. Finalmente, en Latinoamérica, la desviación del MSCI LA es de 1,74%, mientras que la del fondo sostenible es de 1,82%.

3.1.2 Análisis de correlaciones entre fondos

La figura 4 analiza las correlaciones existentes entre los retornos diarios de los fondos sostenibles y los respectivos índices.

Figura 4. Desempeño de cada índice y fondo



Fuente: elaboración propia.

En el caso de los índices tradicionales, las correlaciones varían entre 0,16, que es la más baja, entre el TOPIX de Japón y el SPX de Estados Unidos, y 0,61, que es la más alta, entre el SPX de Estados Unidos y el STOXX50 de Europa. Por su parte, entre los fondos sostenibles, las correlaciones se encuentran mayoritariamente entre 0,62 y 0,68. La correlación más baja, de 0,54, se presenta entre los fondos sostenibles de Latinoamérica y Japón. En contraste, los fondos

sostenibles de Estados Unidos y de la Eurozona muestran la correlación más alta, alcanzando 0,78.

Es importante señalar cómo, en todas las combinaciones de regiones, las correlaciones entre los índices tradicionales son inferiores a las correlaciones entre los fondos sostenibles. La diferencia más significativa entre las correlaciones de los índices tradicionales y las de los fondos sostenibles se presenta entre Japón y Estados Unidos, con una diferencia de 49 puntos básicos, mientras que la diferencia más baja se observa entre Estados Unidos y Latinoamérica, con una diferencia de solo 2 puntos básicos.

Este hallazgo sugiere que las correlaciones más bajas entre los índices tradicionales de cada región, en comparación con las de los fondos sostenibles, podrían indicar la existencia de mayores oportunidades de diversificación. Por lo tanto, la inversión sostenible puede considerarse una fuente de comovimientos entre las regiones.

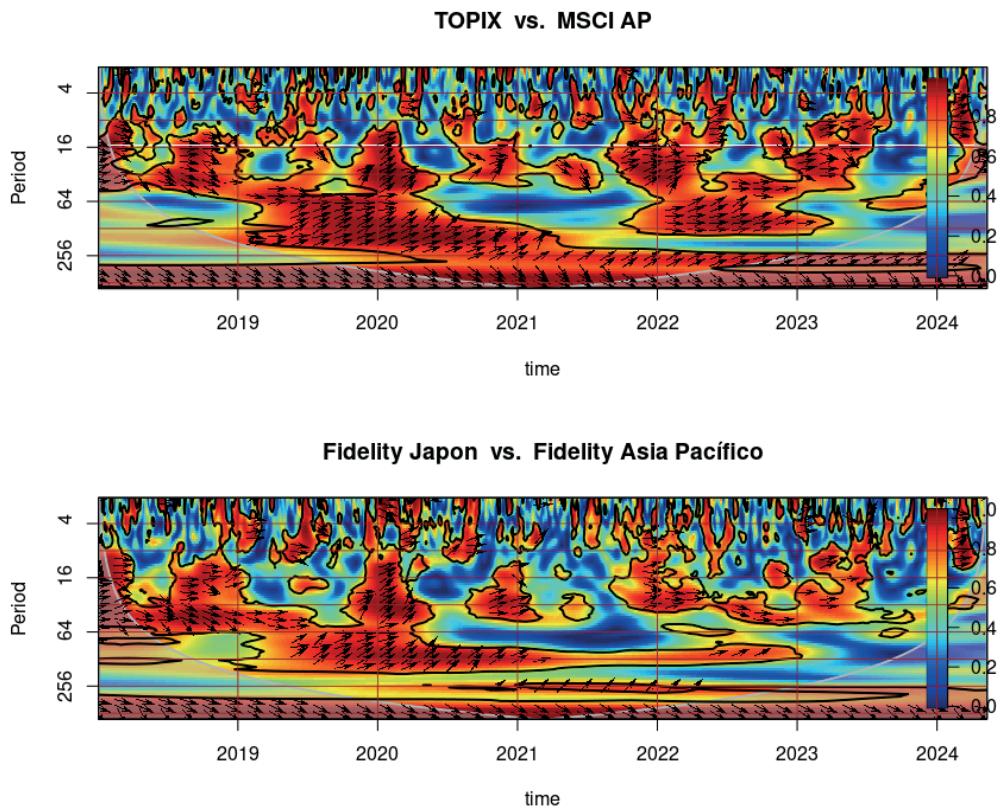
4. Implementación

4.1 Análisis de coherencia de *wavelets*

A partir de la ecuación (8), que definía la transformación *wavelet* continua, y de las ecuaciones (17 y (18), que definían la coherencia de *wavelet* y su correspondiente indicador de diferencia de fase respectivamente, se construyeron las gráficas de coherencia de *wavelets* entre índices tradicionales y fondos sostenibles por cada combinación de par de regiones. Un total de diez combinaciones fueron analizadas bajo esta metodología, como se menciona a continuación.

4.1.1 Japón-Asia Pacífico Ex Japón

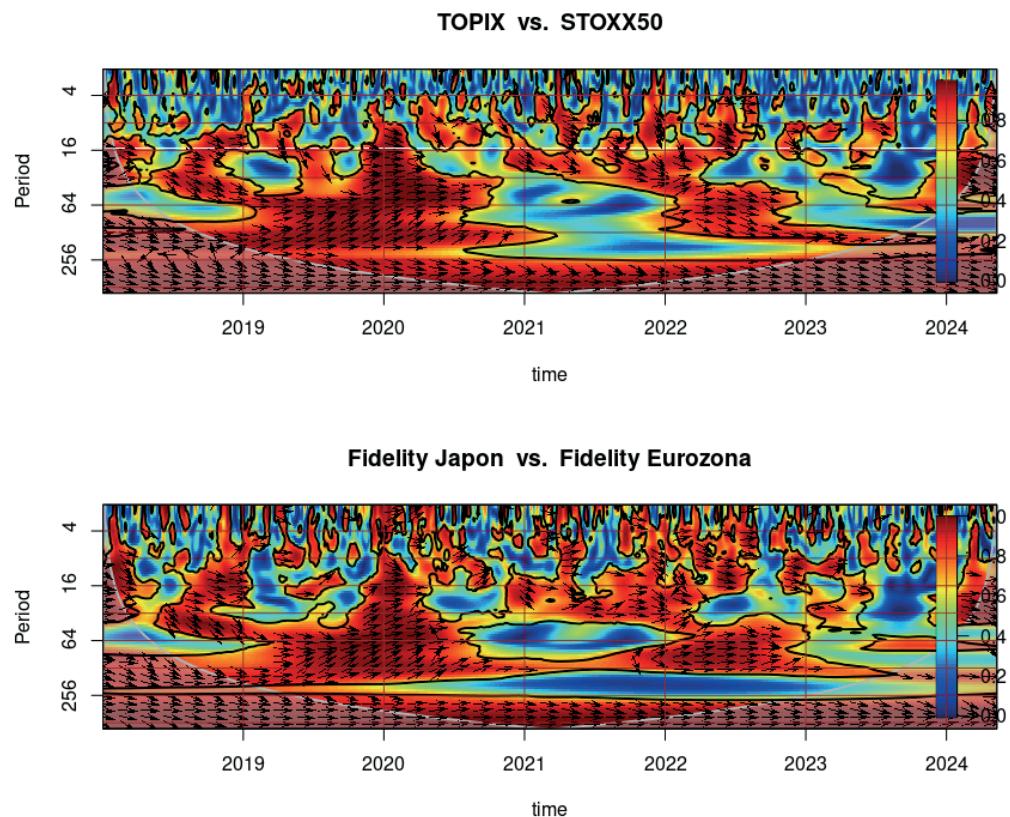
La figura 5 presenta el comovimiento entre los retornos de los índices tradicionales de Japón y Asia Pacífico (sin Japón), así como entre los fondos sostenibles de estas regiones. Se puede observar que, en comparación con los comovimientos entre los índices tradicionales, hay una disminución en la intensidad de los comovimientos entre los fondos sostenibles en todos los horizontes de tiempo. Destaca especialmente la fuerte disminución de los comovimientos de los fondos sostenibles en el mediano plazo, entre mediados de 2022 y mediados de 2023. Las flechas hacia arriba a la derecha indican que los comovimientos observados están en fase, es decir, tienen la misma orientación. Además, los movimientos en el mercado japonés guían los del mercado de Asia Pacífico.

Figura 5. Coherencia de *wavelet* Japón-Asia Pacífico

Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Japón-Eurozona

En el caso de Japón y Eurozona, la figura 6 muestra que, a largo plazo, existe un menor grado de comovimientos entre los fondos sostenibles en comparación con los índices tradicionales, especialmente durante el periodo de la pandemia, entre 2019 y 2021. Sin embargo, en el mediano y corto plazo, los comovimientos de los fondos sostenibles presentan mayor intensidad que aquellos entre los índices tradicionales. Es notable que, durante la pandemia, los comovimientos tanto de los índices tradicionales como de los fondos sostenibles fueron liderados principalmente por el mercado japonés, mientras que, después de la pandemia, a partir de 2022, la eurozona lideró estos comovimientos.

Figura 6. Coherencia de *wavelet* Japón-Eurozona

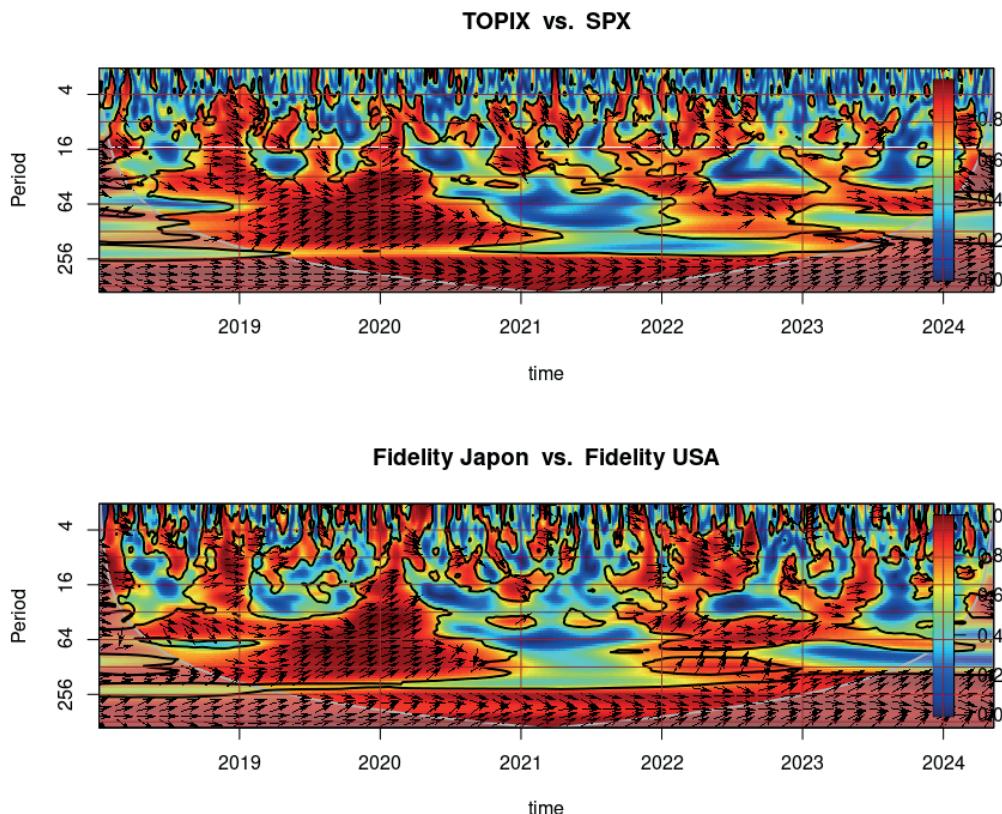
Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Japón-Estados Unidos

La figura 7 indica que los comovimientos entre los fondos sostenibles de Japón y Estados Unidos no son menores que aquellos entre los índices tradicionales. Durante el periodo 2021 y 2022, los comovimientos entre los índices tradicionales son ligeramente mayores respecto de aquellos de los fondos sostenibles en el mediano y corto plazo. Sin embargo, después de 2022, los comovimientos de los fondos sostenibles muestran mayor intensidad respecto de aquellos de los índices tradicionales. Durante la pandemia, los comovimientos fueron liderados por el mercado japonés. Sin embargo, entre los índices tradicionales, los comovimientos posteriores a la pandemia parecen ser guiados por el mercado

de Estados Unidos, mientras que en los fondos sostenibles, el liderazgo corresponde al fondo japonés.

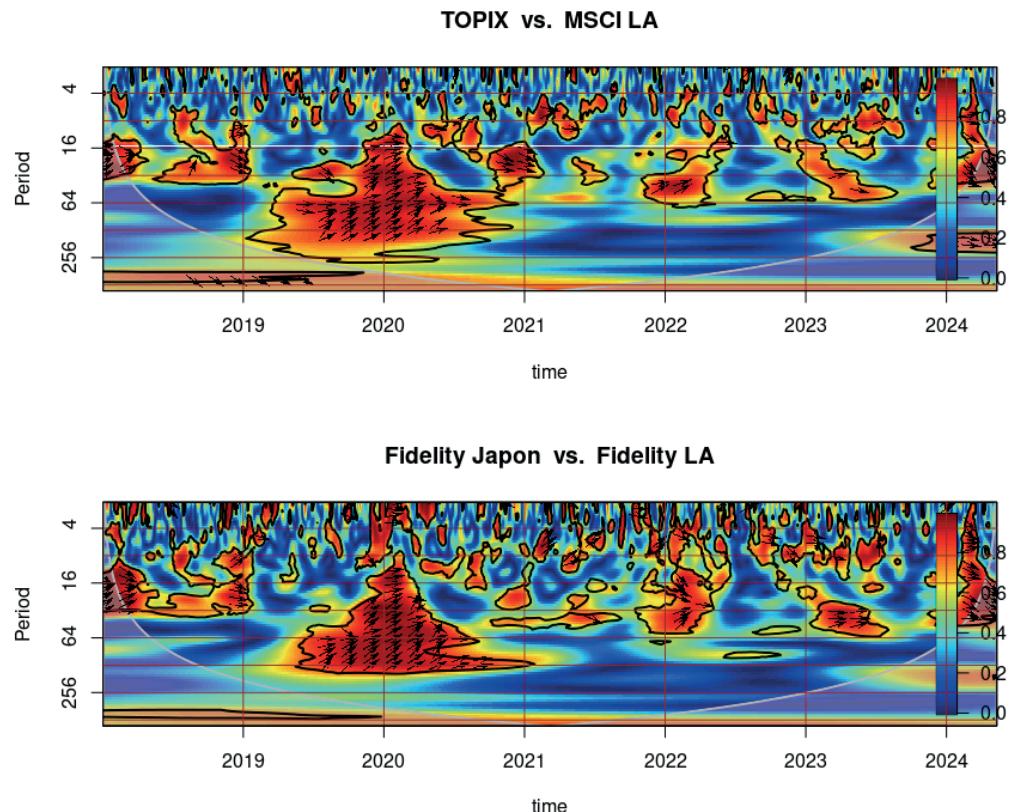
Figura 7. Coherencia de *wavelet* Japón-Estados Unidos



Fuente: elaboración propia.

4.1.4 Japón-Latinoamérica

La figura 8 presenta los comovimientos entre los fondos sostenibles de Japón y Latinoamérica, y entre los índices tradicionales. Se observa que, a largo plazo, los comovimientos de ambos tipos presentan baja intensidad, siendo esta menor en los fondos sostenibles. No obstante, en el mediano y corto plazo, los comovimientos de los fondos sostenibles presentan una mayor intensidad respecto de aquellos de los índices tradicionales.

Figura 8. Coherencia de *wavelet* Japón-Latinoamérica

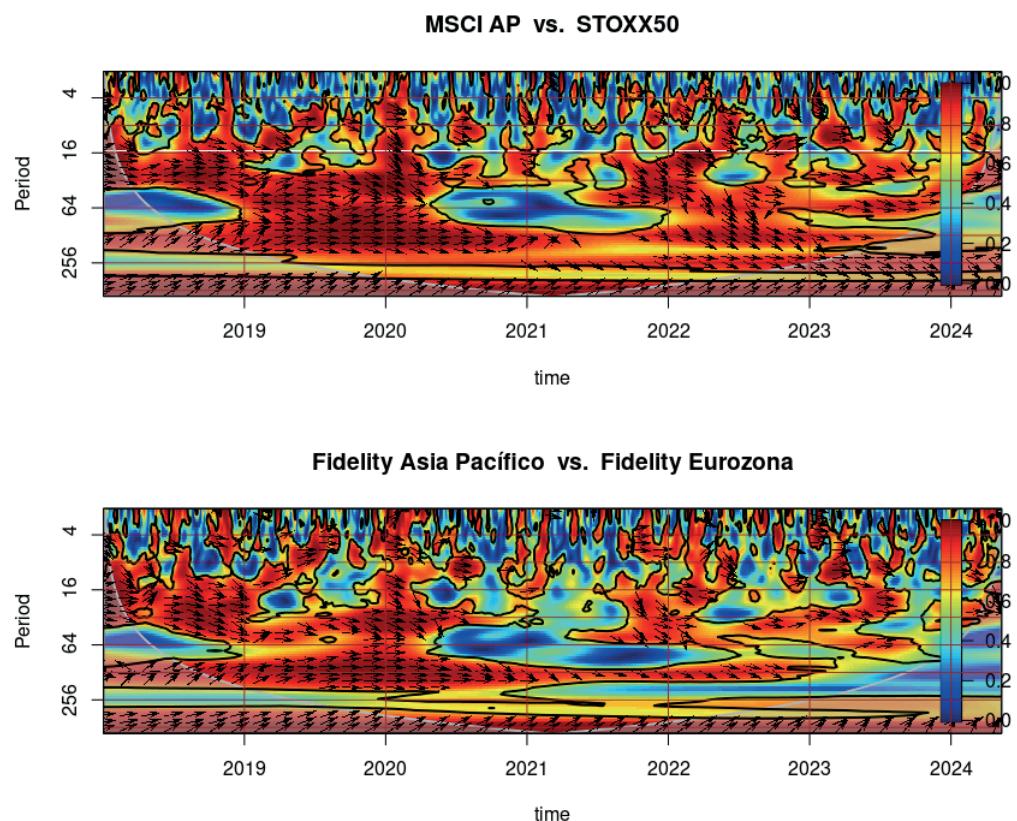
Fuente: elaboración propia.

4.1.5 Asia Pacífico Ex Japón-Eurozona

Los mercados de Asia Pacífico y la Eurozona muestran fuertes comovimientos, como se puede observar en la figura 9. No obstante lo anterior, se evidencia que, después de la pandemia, los comovimientos de los fondos sostenibles son significativamente de menor intensidad que los de los índices tradicionales. A largo plazo, los fondos sostenibles presentan menores comovimientos que los índices tradicionales después de 2021, mientras que en el mediano y corto plazo este comportamiento se observa a partir de 2022. En cuanto a la relación de líder-seguidor, durante la pandemia, los comovimientos a largo plazo fueron homogéneos, sin un líder o seguidor claro. Sin embargo, en el mediano plazo,

el mercado de la eurozona lideró los comovimientos, al igual que después de la pandemia.

Figura 9. Coherencia de *wavelet* Asia Pacífico-Eurozona



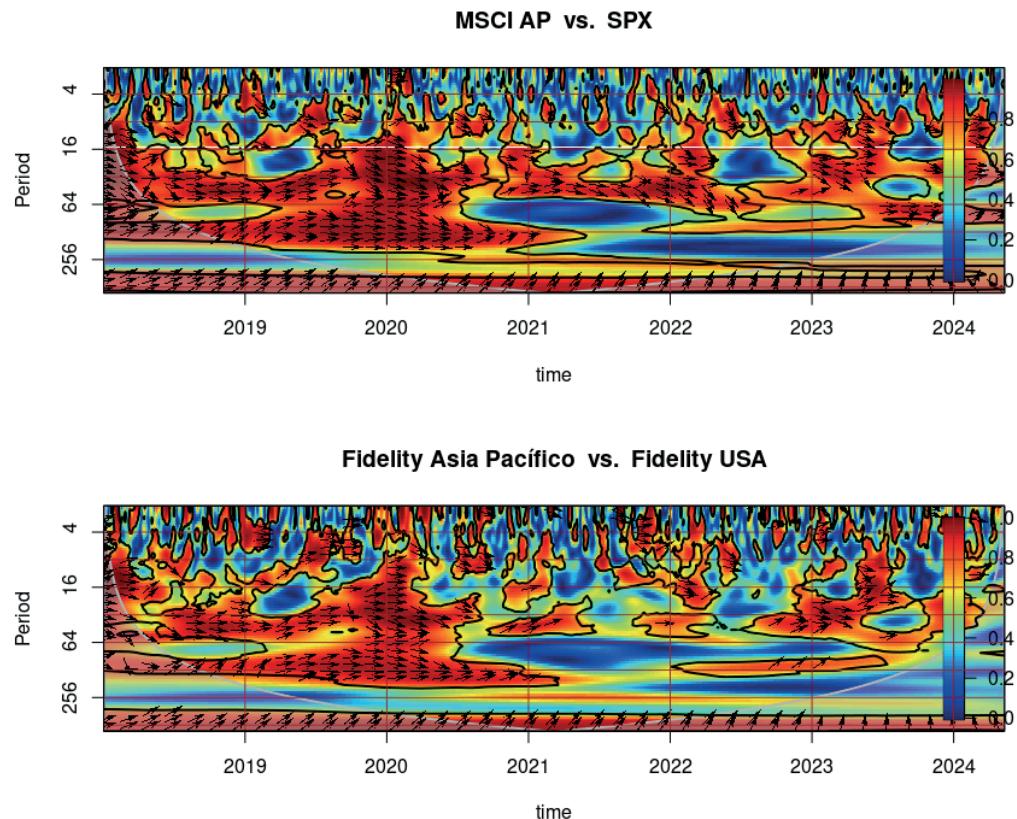
Fuente: elaboración propia.

4.1.6 Asia Pacífico Ex Japón-Estados Unidos

Los mercados de Asia Pacífico presentaron altos comovimientos con el mercado de Estados Unidos durante la pandemia, específicamente entre 2021 y 2022. Sin embargo, después de 2021, tanto los índices tradicionales como los fondos sostenibles muestran una disminución en la intensidad de los comovimientos. A largo plazo, los fondos sostenibles presentan comovimientos de menor intensidad que los índices tradicionales. En el mediano plazo, los fondos sostenibles también muestran menor intensidad en sus comovimientos en comparación con

los índices entre 2021 y 2022; sin embargo, después de esta fecha, la intensidad de los comovimientos de los fondos sostenibles se aproxima más a la de los índices tradicionales. En el corto plazo, los comovimientos entre los índices tradicionales son menores que entre los fondos sostenibles entre 2020 y 2022; no obstante, después de 2022, los comovimientos entre los índices tradicionales presentan mayor intensidad. En cuanto a la relación de liderazgo/seguimiento, durante la pandemia, a largo plazo, los comovimientos se presentaron de manera homogénea, sin un líder claro; sin embargo, en el mediano plazo, los índices de Asia Pacífico siguieron a los de Estados Unidos. La figura 10 evidencia esta dinámica.

Figura 10. Coherencia de *wavelet* Asia Pacífico-Estados Unidos

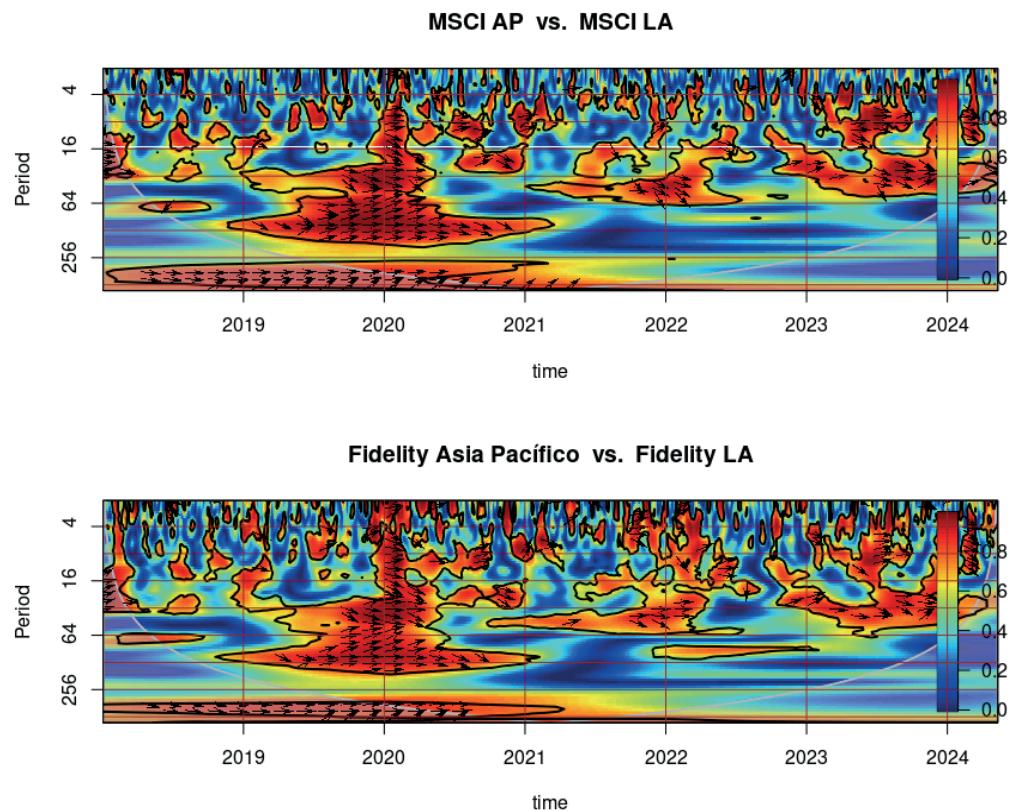


Fuente: elaboración propia.

4.1.7 Asia Pacífico Ex Japón-Latinoamérica

La figura 11 presenta la coherencia de *wavelets* para Asia Pacífico y Latinoamérica, donde se observa que los fondos sostenibles presentan intensidades en sus co--movimientos ligeramente superiores a las de los índices tradicionales. A largo plazo, después de la pandemia, tanto los fondos sostenibles como los índices tradicionales no muestran comovimientos intensos entre sí; sin embargo, en el mediano y corto plazo, los comovimientos entre los fondos sostenibles son más intensos que entre los índices tradicionales; en ambos casos, se observan movimientos en fase sin un líder claro.

Figura 11. Coherencia de *wavelet* Asia Pacífico-Latinoamérica

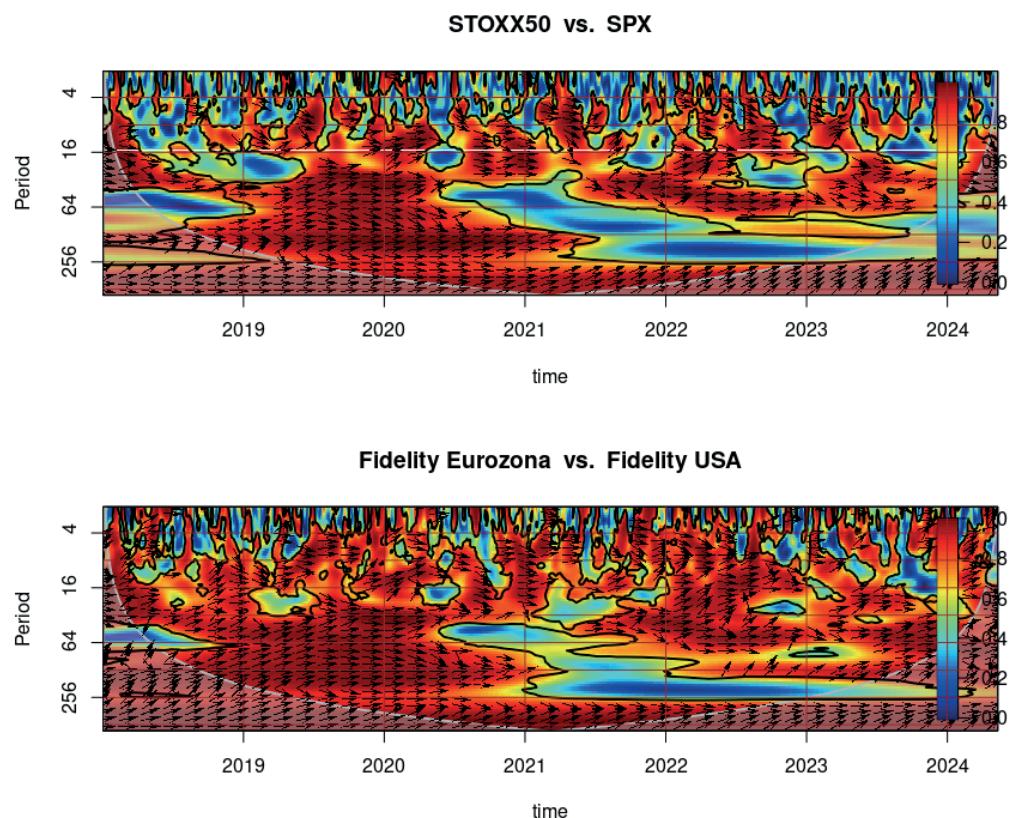


Fuente: elaboración propia.

4.1.8 Eurozona-Estados Unidos

Los comovimientos entre el mercado europeo y el mercado estadounidense, presentados en la figura 12, se caracterizan por su alta intensidad en todos los horizontes de tiempo, siendo los comovimientos entre los fondos sostenibles más intensos que entre los índices tradicionales. Es notable que los comovimientos en el mediano plazo se encuentran liderados por Europa.

Figura 12. Coherencia de wavelet Eurozona-Estados Unidos



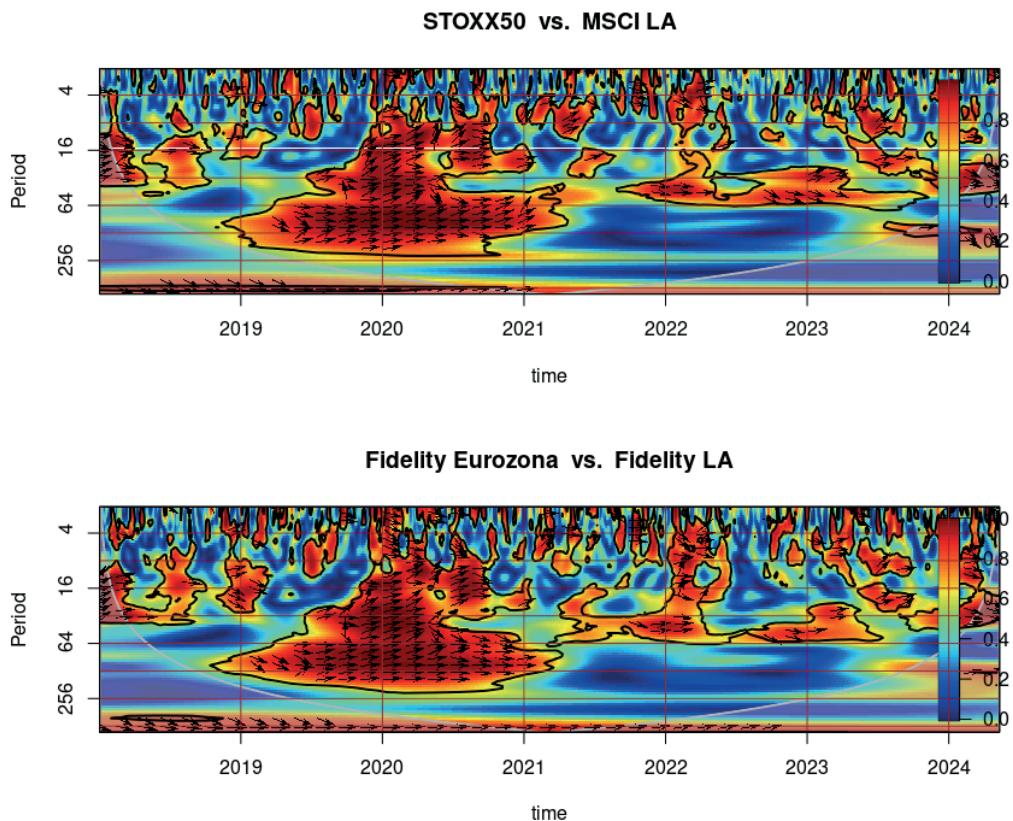
Fuente: elaboración propia.

4.1.9 Eurozona-Latinoamérica

Por otro lado, en la figura 13 no se observan comovimientos de magnitud significativa entre Europa y Latinoamérica a largo plazo, tanto entre los índices tradicionales como entre los fondos sostenibles; sin embargo, en el mediano plazo, se

observan comovimientos fuertes durante la pandemia, liderados principalmente por Europa. Entre 2021 y mediados de 2022, los comovimientos son más fuertes entre los fondos sostenibles, pero, después de 2022, los comovimientos son de intensidad levemente mayor entre los índices tradicionales. En el corto plazo, los comovimientos son más intensos entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales, especialmente durante el periodo de pandemia entre 2020 y 2021, y posteriormente a inicios de 2022.

Figura 13. Coherencia de *wavelet* Eurozona-Latinoamérica



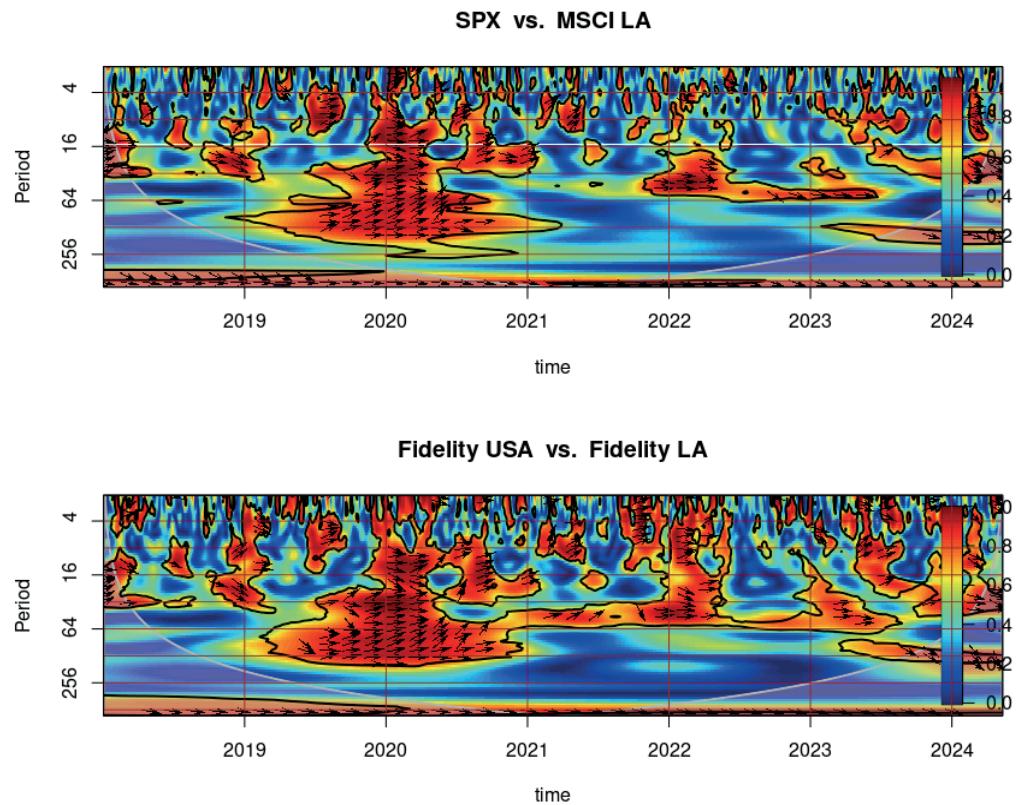
Fuente: elaboración propia.

4.1.10 Estados Unidos-Latinoamérica

Por último, la figura 14 muestra los comovimientos entre Estados Unidos y Latinoamérica. A largo plazo, los comovimientos entre los fondos sostenibles son

más intensos durante la pandemia, siendo liderados principalmente por Estados Unidos. Después de 2021, los comovimientos en este horizonte temporal son de menor intensidad entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales. En el corto y mediano plazo, los comovimientos son de mayor intensidad entre los fondos sostenibles, con grandes períodos de alta intensidad entre mediados de 2021 y 2022, y desde 2023 en adelante.

Figura 14. Coherencia de *wavelet* Estados Unidos-Latinoamérica



Fuente: elaboración propia.

Desde una perspectiva general, se puede observar que los comovimientos en frecuencias menores a cuatro días son de mayor intensidad entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales en todas las combinaciones de regiones. Este resultado es coherente con el hecho de que las correlaciones de los

retornos diarios son mayores entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales, como bien se expuso en las figuras 5 a 14.

4.2 Conformación de portafolios

A fin de comparar las conclusiones obtenidas en el análisis de coherencia de *wavelets* de la sección anterior, se conforman portafolios entre pares de fondos sostenibles e índices tradicionales de las diferentes regiones, utilizando los retornos diarios y la descomposición *wavelet* de corto, mediano y largo plazo de los retornos.

La descomposición se realizó utilizando una wavelet de tipo “la8” en tres niveles, de acuerdo con la metodología MODWT descrita anteriormente. Se tomaron los componentes de escala de cada nivel como los retornos correspondientes a corto, mediano y largo plazo. Las figuras 1 a 3 en el anexo presentan las correlaciones entre las distintas regiones y países, tanto para los fondos sostenibles como para los índices tradicionales, en los distintos horizontes de tiempo (corto, mediano y largo plazo).

Se observa que, a medida que el horizonte de tiempo se amplía, el diferencial (*gap*) entre las correlaciones de fondos e índices se reduce, llegando en la mayoría de los casos, a largo plazo, a ser menor la correlación entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales.

Tabla 3. *Gap* entre correlaciones de fondos e índices

Par regiones	Diario	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Japón-Latinoamérica	0,33	0,07	0,00	-0,03
Japón-Estados Unidos	0,54	0,13	0,02	0,13
Japón-Eurozona	0,41	0,11	0,03	-0,02
Japón-Asia Pacífico	0,10	-0,01	-0,05	-0,05
Asia Pacífico-Latinoamérica	0,15	0,01	-0,02	-0,04
Asia Pacífico-Estados Unidos	0,26	0,03	-0,05	0,09
Asia Pacífico-Eurozona	0,19	0,03	-0,01	-0,04
Eurozona-Latinoamérica	0,08	0,00	-0,01	-0,01
Eurozona-Estados Unidos	0,21	0,08	0,03	0,20
USA-Latinoamérica	0,03	0,04	0,02	0,16

* Cálculo *gap*: Fondos Sostenibles - Índices tradicionales.

Fuente: elaboración propia.

Un ejemplo de esto es el caso de Japón y Latinoamérica. Como se muestra en la tabla 3, esta combinación presenta un *gap* en el corto plazo de 7 puntos básicos,

siendo mayor la correlación entre los fondos sostenibles que entre los índices tradicionales. En el mediano plazo, las correlaciones de los fondos sostenibles y los índices tradicionales son iguales. Sin embargo, al analizar el largo plazo, la correlación entre los índices tradicionales supera en 3 puntos básicos la correlación entre los fondos sostenibles.

De este modo, en 9 de los 10 pares de combinaciones de regiones, la correlación entre fondos sostenibles en el corto plazo es mayor que la correlación entre los índices tradicionales, mientras que, a largo plazo, una proporción de 6 de 10 pares de combinaciones de regiones muestra mayores correlaciones entre los índices tradicionales que entre los fondos sostenibles. Un resultado importante es que las excepciones son todas aquellas combinaciones de pares en los que se correlaciona Estados Unidos.

La tabla 4 muestra el *Sharpe Ratio* de los portafolios de fondos sostenibles en comparación con los portafolios de índices tradicionales. Se encuentra que, utilizando los retornos diarios, el *Sharpe Ratio* más alto se obtiene en la mayoría de las combinaciones de regiones con los portafolios de índices tradicionales, exceptuando las combinaciones Japón-Eurozona, Asia Pacífico-Eurozona y Asia Pacífico-Latinoamérica. Como se evidencia, en el caso de los retornos de corto, mediano y largo plazo, los portafolios sostenibles presentan *Sharpe Ratios* más altos que los portafolios tradicionales, a excepción de Japón-USA y Asia Pacífico-USA.

Tabla 4. *Gap* en *Sharpe Ratio* portafolios fondos e índices

Par regiones	Diario	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Japón-Asia Pacífico	0,000	0,002	0,006	0,013
Japón-Eurozona	0,001	0,004	0,009	0,016
Japón-Estados Unidos	-0,014	-0,014	-0,024	-0,042
Japón-Latinoamérica	-0,001	0,001	0,004	0,007
Asia Pacífico-Eurozona	0,004	0,007	0,009	0,012
Asia Pacífico-Estados Unidos	-0,013	-0,008	-0,003	0,003
Asia Pacífico-Latinoamérica	0,002	0,003	0,005	0,006
Eurozona-Estados Unidos	-0,004	0,007	0,015	0,026
Eurozona-Latinoamérica	0,000	0,000	0,001	0,002
USA-Latinoamérica	-0,003	0,000	0,003	0,007

* Calculo gap: Fondos Sostenibles - Índices tradicionales.

Fuente: elaboración propia.

4.3 Desempeño de portafolios

Los desempeños de los portafolios sostenibles y tradicionales varían considerablemente entre las combinaciones de regiones y los horizontes de tiempo. Destaca que en diversas combinaciones geográficas, los portafolios sostenibles superan el desempeño de los tradicionales durante la pandemia en todos los horizontes de tiempo. Este fenómeno se refleja en menores comovimientos observados en el análisis de coherencia *wavelet*. Ejemplos de esto son las combinaciones Japón-Asia Pacífico, Japón-Latinoamérica, Asia Pacífico-Estados Unidos, Asia Pacífico-Latinoamérica, Eurozona-Latinoamérica y Estados Unidos-Latinoamérica, que se presentan en las figuras 4, 7, 9, 10, 12 y 13 del anexo, respectivamente.

Por otro lado, en otras combinaciones de regiones, como Japón-Eurozona, Asia Pacífico-Eurozona y Eurozona-USA, mostradas en las figuras 5, 8 y 11 del anexo, respectivamente, los retornos de los portafolios sostenibles superan el desempeño de los portafolios tradicionales no solo durante el periodo de pandemia, sino también en el periodo posterior. En las figuras 5 y 11 del anexo se observa cómo el *gap* entre el portafolio sostenible y el portafolio tradicional se amplía a medida que se considera un horizonte de tiempo mayor para las combinaciones Japón-Eurozona y Eurozona-USA, respectivamente.

La figura 6 del anexo representa el caso de Japón-Estados Unidos, en el cual el desempeño de los portafolios sostenibles es inferior al de los tradicionales, y a medida que el horizonte de tiempo se amplía, también se incrementa el *gap* entre ambos portafolios. Por último, en la figura 9 del anexo se presenta la combinación Asia Pacífico-Estados Unidos, en la cual el portafolio tradicional supera al sostenible después de la pandemia. Sin embargo, a medida que se amplía el horizonte de tiempo, el desempeño de los portafolios sostenibles supera al de los tradicionales.

5. Implementación

El análisis de coherencia de *wavelet* resulta útil para observar los patrones de comovimiento entre las series de retornos, tanto en el tiempo como en el espectro de frecuencias. Esto facilita la identificación de patrones de correlación e integración entre series en distintos horizontes temporales.

Por otro lado, las correlaciones tradicionales solo reflejan el comportamiento a corto plazo. Esto se confirma al observar que las correlaciones entre los índices tradicionales son generalmente menores que aquellas entre los fondos

sostenibles. Además, en los fondos sostenibles, los comovimientos de muy corto plazo son de mayor intensidad que entre los índices tradicionales en todas las combinaciones de regiones. Este resultado es coherente con los hallazgos de De Sousa Gabriel y Rodeiro-Pazos (2018).

El análisis de coherencia indica que, a largo plazo, los comovimientos entre los fondos sostenibles son de menor intensidad en comparación con los índices tradicionales, a excepción de los observados entre Japón y Estados Unidos, Europa y Estados Unidos, y Asia Pacífico y Latinoamérica. En el mediano y corto plazo, sin embargo, los índices tradicionales presentan menores comovimientos que los fondos sostenibles, a menos que se trate de los casos de Japón y Asia Pacífico, así como de Europa y Asia Pacífico, donde los comovimientos de los fondos sostenibles son inferiores a los de los índices tradicionales en todos los horizontes de tiempo.

De este modo, se evidencian mayores oportunidades de diversificación geográfica entre los fondos sostenibles a largo plazo. En el mediano y corto plazo, sin embargo, los fondos sostenibles se ven influidos por las dinámicas específicas de cada mercado. Adicionalmente, su naturaleza sostenible les confiere características comunes que provocan comovimientos de mayor intensidad en estos plazos.

En todos los casos se observaron movimientos en fase, lo cual es consistente con el hecho de que todas las correlaciones simples fueron positivas. Esto indica que, en general, los movimientos de los fondos y de los índices entre las distintas regiones siguen la misma dirección.

Cabe destacar también el papel de liderazgo de los mercados de Japón y Asia Pacífico durante la pandemia, en concordancia con el hecho de que la crisis tuvo su origen en los mercados orientales. Así, en línea con los resultados de Becchetti *et al.* (2015) y Díaz *et al.* (2022), se observa que durante la pandemia los fondos sostenibles superaron en desempeño a los índices tradicionales.

Estudios previos han utilizado la metodología de coherencia de *wavelets* para analizar los comovimientos de activos y fondos sostenibles. Por ejemplo, el trabajo de Rehman y Vo (2020) aplica esta metodología en el análisis de fondos sostenibles con diferentes objetivos –como la diversidad de género, la reducción de emisiones de carbono y el uso de combustibles fósiles–, aunque la composición de estos fondos no incluye consideraciones geográficas. Por su parte, el estudio de Ul Haq *et al.* (2023) emplea la coherencia de *wavelets* para analizar diversos tipos de activos sostenibles, incluidos bonos verdes, índices verdes y criptomonedas sostenibles.

El presente trabajo contribuye a la literatura sobre diversificación con fondos sostenibles al combinar el enfoque de diversificación regional de estudios como los de Bahlous y Mohd. Yusof (2014) y Cunha *et al.* (2020) con la metodología de coherencia de *wavelets*. Esto permite comparar los comovimientos entre fondos sostenibles de diferentes regiones y contrastarlos con los de sus índices de referencia tradicionales.

A partir de este enfoque, se concluye que los fondos sostenibles ofrecen oportunidades adicionales de diversificación más allá de la diversificación regional. Estas oportunidades se fortalecen a medida que se amplía el horizonte temporal, lo cual se refleja en menores comovimientos a frecuencias más bajas en el análisis de coherencia de *wavelets*. Además, se observa que los portafolios sostenibles, en general, superan el desempeño de los portafolios tradicionales en horizontes de tiempo más amplios.

Futuras investigaciones podrían explorar varias direcciones para ampliar los hallazgos de este estudio. En primer lugar, de manera análoga a esta investigación, podrían analizarse los comovimientos entre portafolios sostenibles conformados por distintos sectores o actividades económicas y compararlos con sus homólogos convencionales. Por otra parte, dado que se observa que los fondos sostenibles actúan como mitigadores del riesgo en momentos de alta volatilidad en los mercados, podría estudiarse la interacción entre distintos indicadores macroeconómicos y financieros, y su interacción con los activos y fondos sostenibles para indagar los canales a través de los cuales se disipa el riesgo.

Referencias

- Bahlous, M., y Mohd. Yusof, R. (2014). International diversification among Islamic investments: Is there any benefit. *Managerial Finance*, 40(6), 613-633. <https://doi.org/10.1108/MF-08-2013-0225>
- Balcilar, M., Demirer, R., y Gupta, R. (2017). Do sustainable stocks offer diversification benefits for conventional portfolios? An empirical analysis of risk spillovers and dynamic correlations. *Sustainability*, 9(10), 1799. <https://doi.org/10.3390/su9101799>
- Becchetti, L., Ciciretti, R., Dalò, A., y Herzl, S. (2015). Socially responsible and conventional investment funds: Performance comparison and the global financial crisis. *Applied Economics*, 47(25), 2541-2562. <https://doi.org/10.1080/00036846.2014.1000517>
- Bello, Z. Y. (2005). Socially responsible investing and portfolio diversification. *Journal of Financial Research*, 28(1), 41-57. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.2005.00113.x>

- Billio, M., Costola, M., Hristova, I., Latino, C., y Pelizzon, L. (2021). Inside the ESG ratings: (Dis)agreement and performance. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 28(5), 1426-1445. <https://doi.org/10.1002/csr.2177>
- Busch, D. (2023). EU Sustainable Finance Disclosure Regulation. *Capital Markets Law Journal*, 18(3), 303-328. <https://doi.org/10.1093/cmlj/kmad005>
- Cunha, F. A., De Oliveira, E. M., Orsato, R. J., Klotzle, M. C., Cyrino Oliveira, F. L., y Caiado, R. G. (2020). Can sustainable investments outperform traditional benchmarks? Evidence from global stock markets. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 682-697. <https://doi.org/10.1002/bse.2397>
- De Sousa Gabriel, V. M. y Rodeiro-Pazos, D. (2018). Do short- and long-term environmental investments follow the same path? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25(1), 14-28. <https://doi.org/10.1002/csr.1437>
- Díaz, A., Esparcia, C. y López, R. (2022). The diversifying role of socially responsible investments during the covid-19 crisis: A risk management and portfolio performance analysis. *Economic Analysis and Policy*, 75, 39-60. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.05.001>
- Folqué, M., Escrig-Olmedo, E. y Corzo Santamaría, T. (2021). Sustainable development and financial system: Integrating ESG risks through sustainable investment strategies in a climate change context. *Sustainable Development*, 29(5), 876-890. <https://doi.org/10.1002/sd.2181>
- Gasser, S. M., Rammerstorfer, M. y Weinmayer, K. (2017). Markowitz revisited: Social portfolio engineering. *European Journal of Operational Research*, 258(3), 1181-1190. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.043>
- Gençay, R., Selçuk, F. y Whitcher, B. (2002). *An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics*. Academic Press.
- Gouglar, A. y Utz, S. (2020). Factor exposures and diversification: Are sustainably screened portfolios any different? *Financial Markets and Portfolio Management*, 34(3), 221-249. <https://doi.org/10.1007/s11408-020-00354-4>
- Henriksson, R., Livnat, J., Pfeifer, P. y Stumpf, M. (2019). Integrating ESG in Portfolio Construction. *The Journal of Portfolio Management*, 45(4), 67-81. <https://doi.org/10.3905/jpm.2019.45.4.067>
- Ivanisevic Hernaus, A. (2019). Exploring the strategic variety of socially responsible investment: Financial performance insights about SRI strategy portfolios. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 10(3), 545-569. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-07-2018-0182>
- Jain, M., Sharma, G. D. y Srivastava, M. (2019). Can sustainable investment yield better financial returns: A comparative study of ESG Indices and MSCI Indices. *Risks*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.3390/risks7010015>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77. <https://doi.org/10.2307/2975974>

- Maxfield, S. y Wang, L. (2021). Does sustainable investing reduce portfolio risk? A multilevel analysis. *European Financial Management*, 27(5), 959-980. <https://doi.org/10.1111/eufm.12296>
- Miralles-Quirós, J. L., Miralles-Quirós, M. M. y Nogueira, J. M. (2019). Diversification benefits of using exchange-traded funds in compliance to the sustainable development goals. *Business Strategy and the Environment*, 28(1), 244-255. <https://doi.org/10.1002/bse.2253>
- Naffa, H. y Fain, M. (2022). A factor approach to the performance of ESG leaders and laggards. *Finance Research Letters*, 44, 102073. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102073>
- Ortas, E., Moneva, J. M., Burritt, R. y Tingey-Holyoak, J. (2014). Does sustainability investment provide adaptive resilience to ethical investors? Evidence from Spain. *Journal of Business Ethics*, 124(2), 297-309. <https://doi.org/10.1007/s10551-013-1873-1>
- Ortiz-de-Mandojana, N. y Bansal, P. (2016). The long-term benefits of organizational resilience through sustainable business practices. *Strategic Management Journal*, 37(8), 1615-1631. <https://doi.org/10.1002/smj.2410>
- Pedersen, L. H., Fitzgibbons, S. y Pomorski, L. (2021). Responsible investing: The ESG-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 572-597. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2020.11.001>
- Percival, D. B. y Walden, A. T. (2007). *Wavelet methods for time series analysis*. Cambridge University Press.
- Rehman, M. U., Kashif, M., Naifar, N. y Shahzad, S. J. H. (2021). Socially responsible funds and traditional energy commodities: A diversification perspective for investments. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 709990. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.709990>
- Rehman, M. U. y Vo, X.-V. (2020). Is a portfolio of socially responsible firms profitable for investors? *Journal of Sustainable Finance y Investment*, 10(2), 191-212. <https://doi.org/10.1080/20430795.2019.1700722>
- Roncalli, T. (2022). Handbook of Sustainable Finance. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4277875>
- Rosso, O. A., Blanco, S., Yordanova, J., Kolev, V., Figliola, A., Schürmann, M. y Başar, E. (2001). Wavelet entropy: A new tool for analysis of short duration brain electrical signals. *Journal of Neuroscience Methods*, 105(1), 65-75. [https://doi.org/10.1016/S0165-0270\(00\)00356-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0270(00)00356-3)
- Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x>
- Stuart, A. y Markowitz, H. M. (1959). Portfolio selection: Efficient diversification of investments. *OR*, 10(4), 253. <https://doi.org/10.2307/3006625>

- Téllez Gaytán, J. C., Vargas Vega, T. de J. y Hernández González, J. A. (2010). Análisis basado en *waveletss* del mercado accionario mejicano. *Teuken Bidikay - Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad*, 1(1), 121-145.
- Torrence, C. y Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61-78. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)
- Ul Haq, I., Maneengam, A., Chupradit, S. y Huo, C. (2023). Are green bonds and sustainable cryptocurrencies truly sustainable? Evidence from a wavelet coherence analysis. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 807-826. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2080739>
- Utz, S., Wimmer, M., Hirschberger, M. y Steuer, R. E. (2014). Tri-criterion inverse portfolio optimization with application to socially responsible mutual funds. *European Journal of Operational Research*, 234(2), 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.024>
- Zapata Q., C. A. (2022). Modelo Media-Varianza y criterios ASG: De Markowitz al portafolio socialmente responsable. *Odeon*, 21, 55-79. <https://doi.org/10.18601/17941113.n21.04>
- Zhan, S. (2023). ESG and corporate performance: A review. *SHS Web of Conferences*, 169, 01064. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202316901064>

Anexo

Retornos esperados y riesgo portafolios de índices y fondos sostenibles

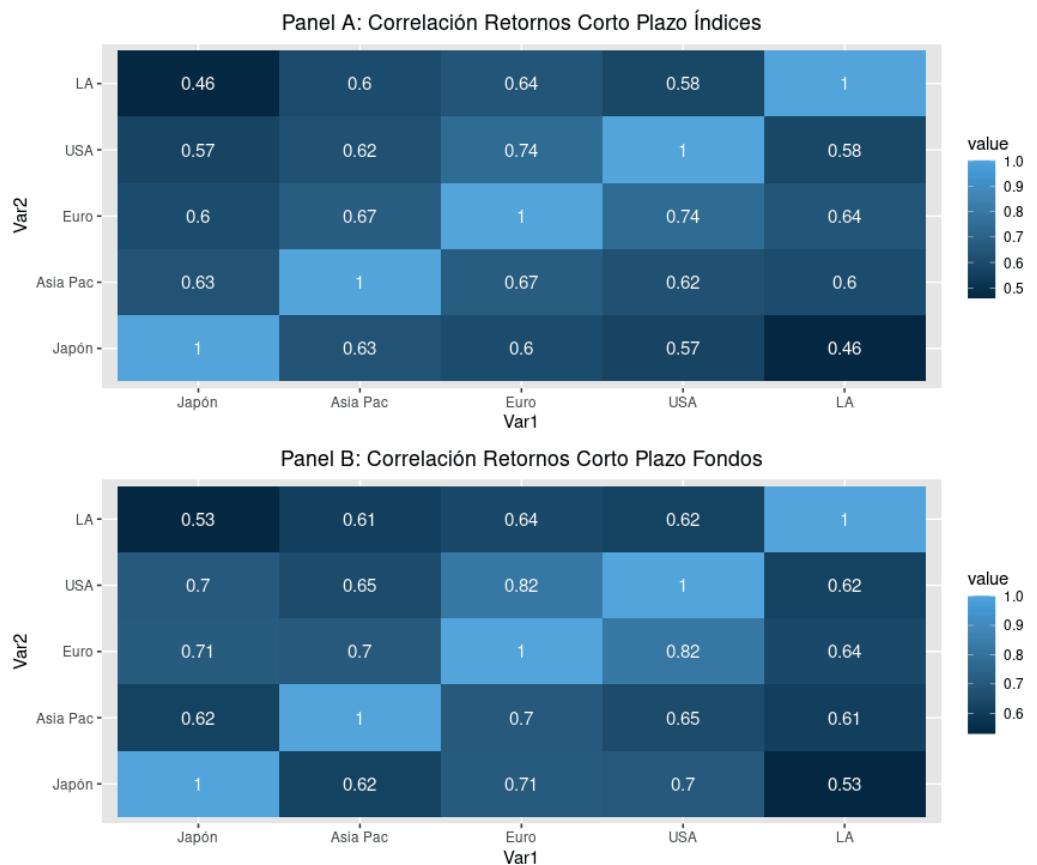
Tabla 1. Retorno esperado, sigma y *Sharpe Ratio* de portafolios

Portafolio		Diario			Corto plazo			Mediano Plazo			Largo plazo		
		μ	σ	Sharpe	μ	σ	Sharpe	μ	σ	Sharpe	μ	σ	Sharpe
Japón-Asia Pacífico	Fondos	0,0001	0,0106	0,0101	0,0001	0,0071	0,0150	0,0001	0,0052	0,0203	0,0001	0,0037	0,0277
	Índices	0,0001	0,0102	0,0104	0,0001	0,0069	0,0131	0,0001	0,0051	0,0139	0,0001	0,0038	0,0143
Japón-Eurozona	Fondos	0,0002	0,0116	0,0150	0,0002	0,0082	0,0220	0,0002	0,0065	0,0296	0,0002	0,0044	0,0431
	Índices	0,0001	0,0107	0,0138	0,0001	0,0083	0,0176	0,0001	0,0068	0,0209	0,0001	0,0051	0,0275
Japón-Estados Unidos	Fondos	0,0002	0,0107	0,0232	0,0003	0,0073	0,0355	0,0003	0,0052	0,0501	0,0003	0,0037	0,0718
	Índices	0,0004	0,0095	0,0371	0,0003	0,0068	0,0497	0,0004	0,0049	0,0741	0,0004	0,0035	0,1138
Japón-Latinoamérica	Fondos	-0,0001	0,0172	-0,0076	-0,0001	0,0114	-0,0114	-0,0001	0,0086	-0,0171	-0,0002	0,0064	-0,0238
	Índices	-0,0001	0,0135	-0,0064	-0,0001	0,0101	-0,0124	-0,0002	0,0082	-0,0211	-0,0002	0,0063	-0,0309
Asia Pacífico-Eurozona	Fondos	0,0002	0,0116	0,0138	0,0002	0,0081	0,0204	0,0002	0,0061	0,0280	0,0002	0,0042	0,0394
	Índices	0,0001	0,0119	0,0095	0,0001	0,0085	0,0137	0,0001	0,0065	0,0190	0,0001	0,0047	0,0275
Asia Pacífico-Estados Unidos	Fondos	0,0002	0,0108	0,0209	0,0002	0,0073	0,0308	0,0002	0,0053	0,0413	0,0002	0,0038	0,0544
	Índices	0,0003	0,0103	0,0336	0,0003	0,0069	0,0391	0,0002	0,0052	0,0446	0,0002	0,0038	0,0514
Asia Pacífico-Latinoamérica	Fondos	-0,0001	0,0178	-0,0082	-0,0001	0,0117	-0,0120	-0,0001	0,0085	-0,0169	-0,0001	0,0063	-0,0232
	Índices	-0,0002	0,0159	-0,0100	-0,0002	0,0109	-0,0154	-0,0002	0,0081	-0,0215	-0,0002	0,0061	-0,0295
Eurozona-Estados Unidos	Fondos	0,0003	0,0120	0,0209	0,0002	0,0085	0,0276	0,0002	0,0067	0,0305	0,0002	0,0046	0,0443
	Índices	0,0003	0,0120	0,0247	0,0002	0,0089	0,0211	0,0001	0,0071	0,0159	0,0001	0,0051	0,0187
Eurozona-Latinoamérica	Fondos	-0,0001	0,0173	-0,0070	-0,0001	0,0114	-0,0098	-0,0001	0,0083	-0,0137	-0,0002	0,0064	-0,0237
	Índices	-0,0001	0,0153	-0,0068	-0,0001	0,0102	-0,0103	-0,0001	0,0077	-0,0149	-0,0001	0,0059	-0,0252
Estados Unidos-Latinoamérica	Fondos	-0,0001	0,0177	-0,0074	-0,0001	0,0118	-0,0111	-0,0002	0,0088	-0,0180	-0,0002	0,0066	-0,0274
	Índices	-0,0001	0,0159	-0,0044	-0,0001	0,0108	-0,0114	-0,0002	0,0083	-0,0214	-0,0002	0,0064	-0,0346

Fuente: elaboración propia.

Correlaciones corto, mediano y largo plazo

Figura 1. Correlaciones de corto plazo



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Correlaciones de mediano plazo

Panel A: Correlación Retornos Mediano Plazo Índices

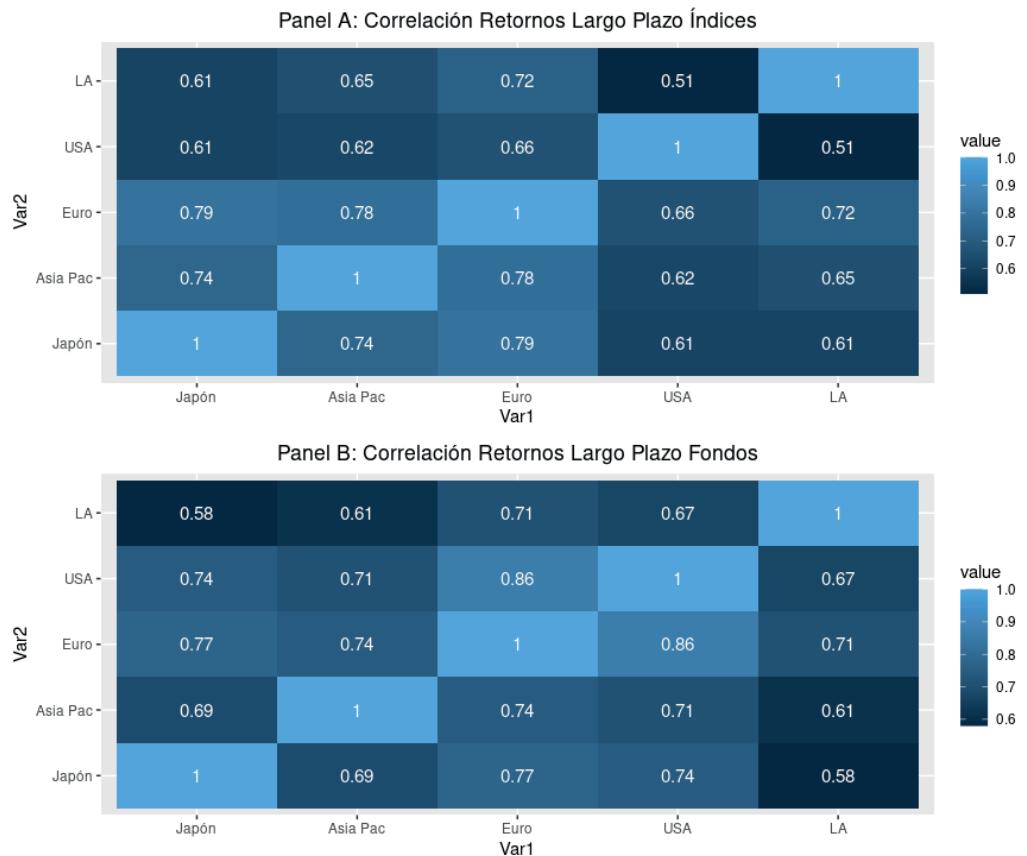


Panel B: Correlación Retornos Mediano Plazo Fondos



Fuente: elaboración propia.

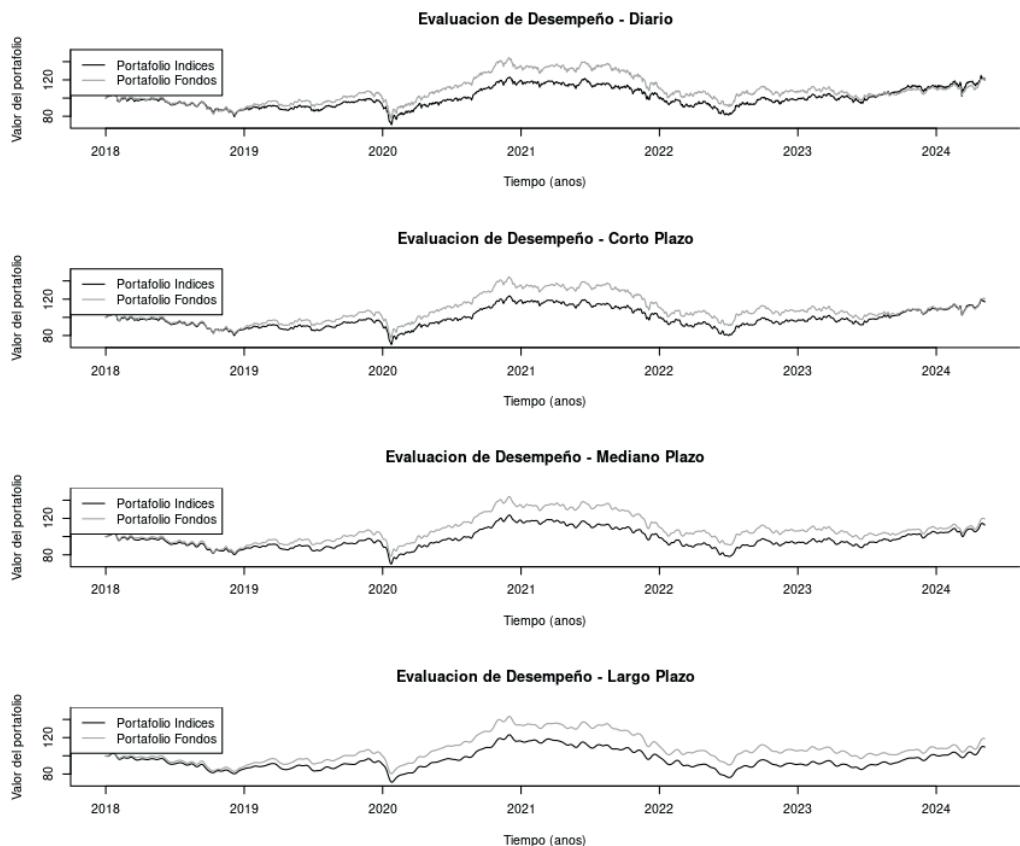
Figura 3. Correlaciones de largo plazo



Fuente: elaboración propia.

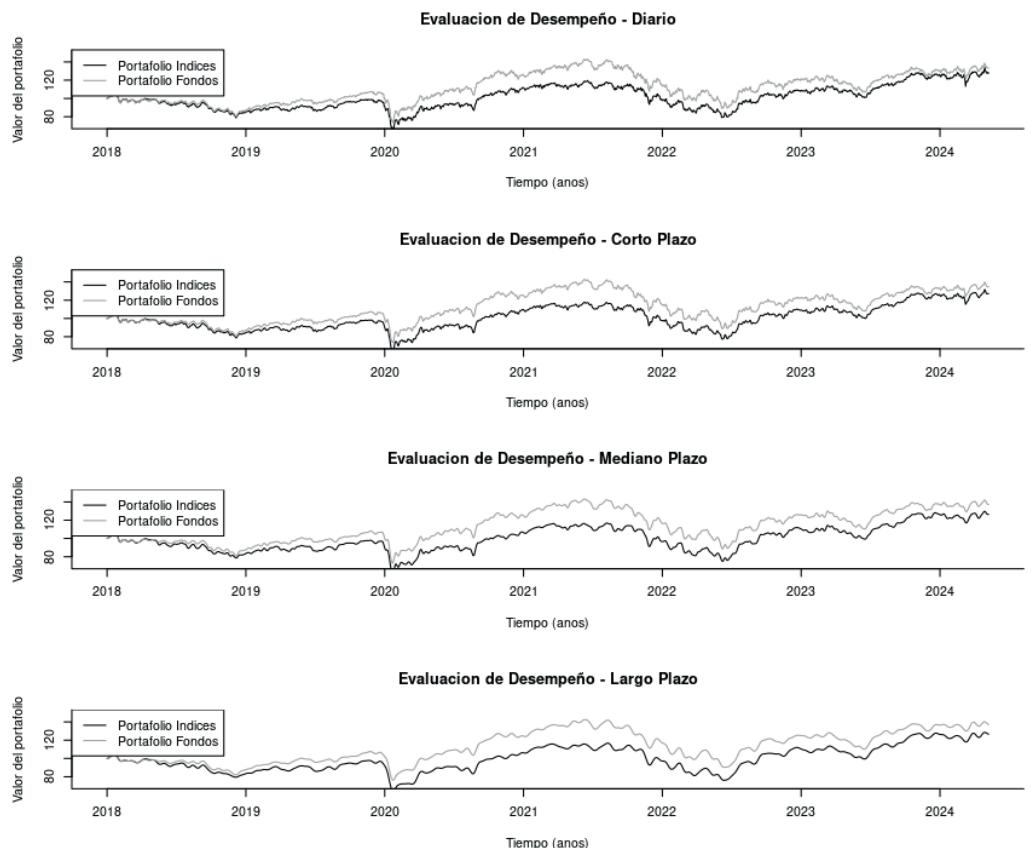
Desempeño de portafolios

Figura 4. Japón-Asia Pacífico



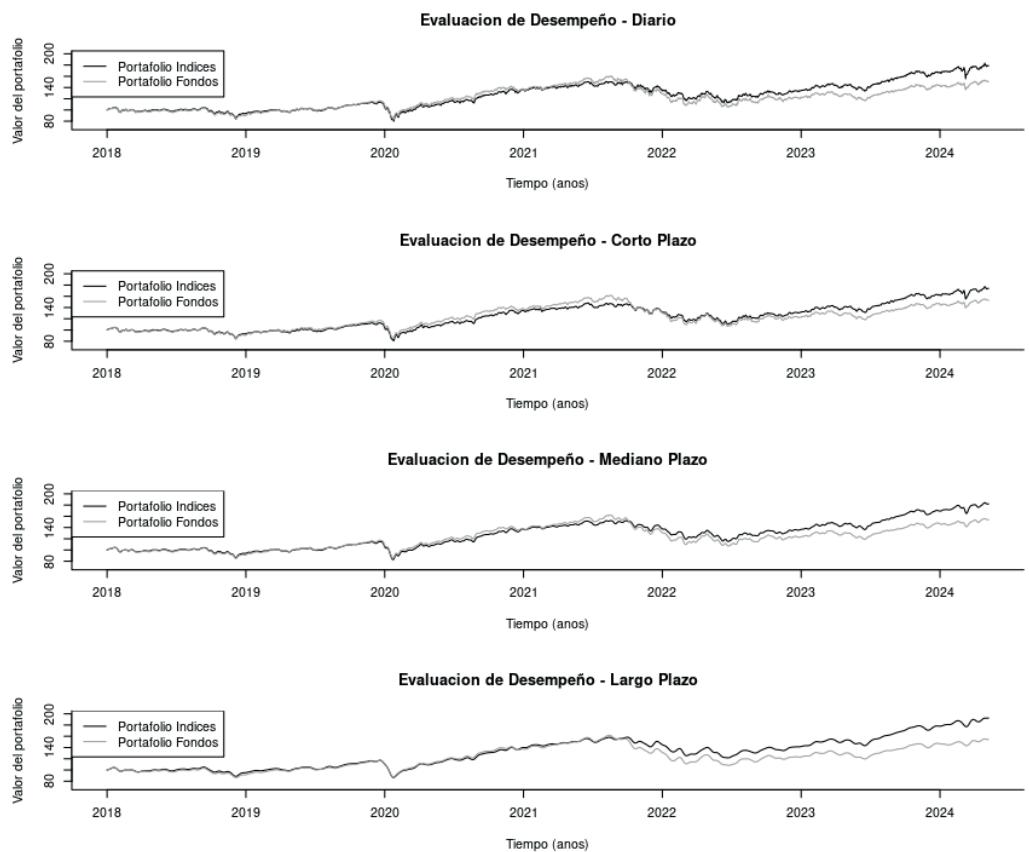
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Japón-Eurozona



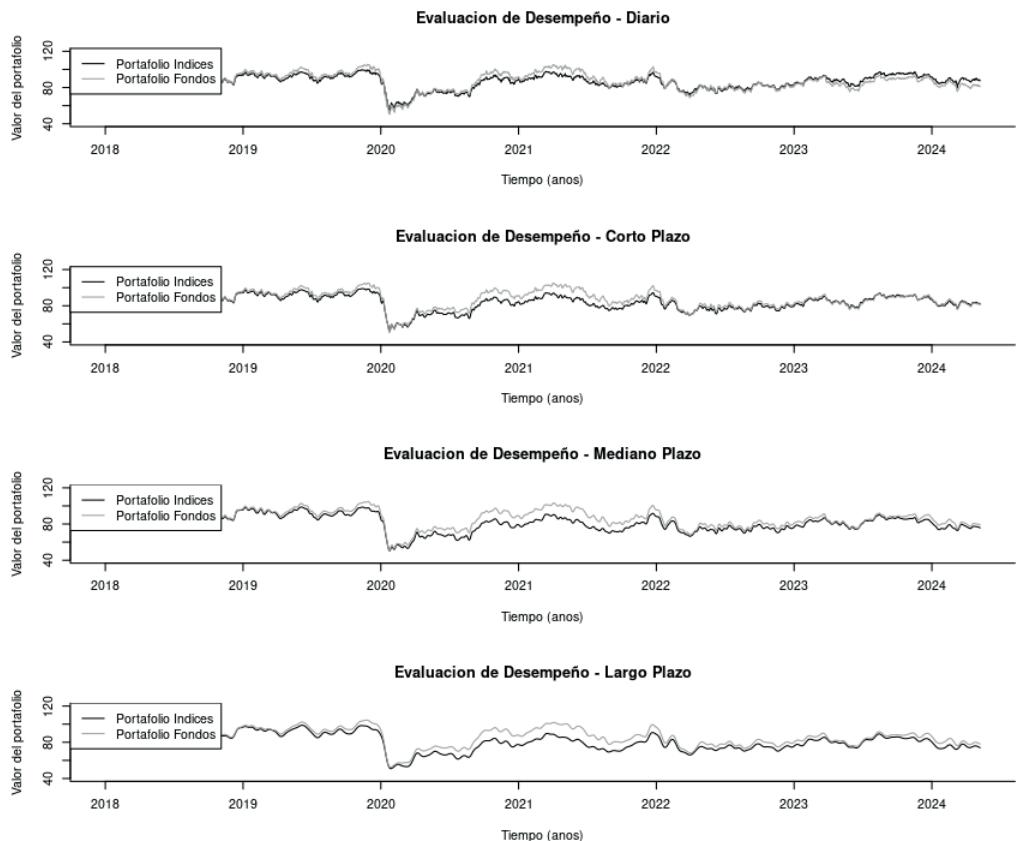
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Japón-Estados Unidos



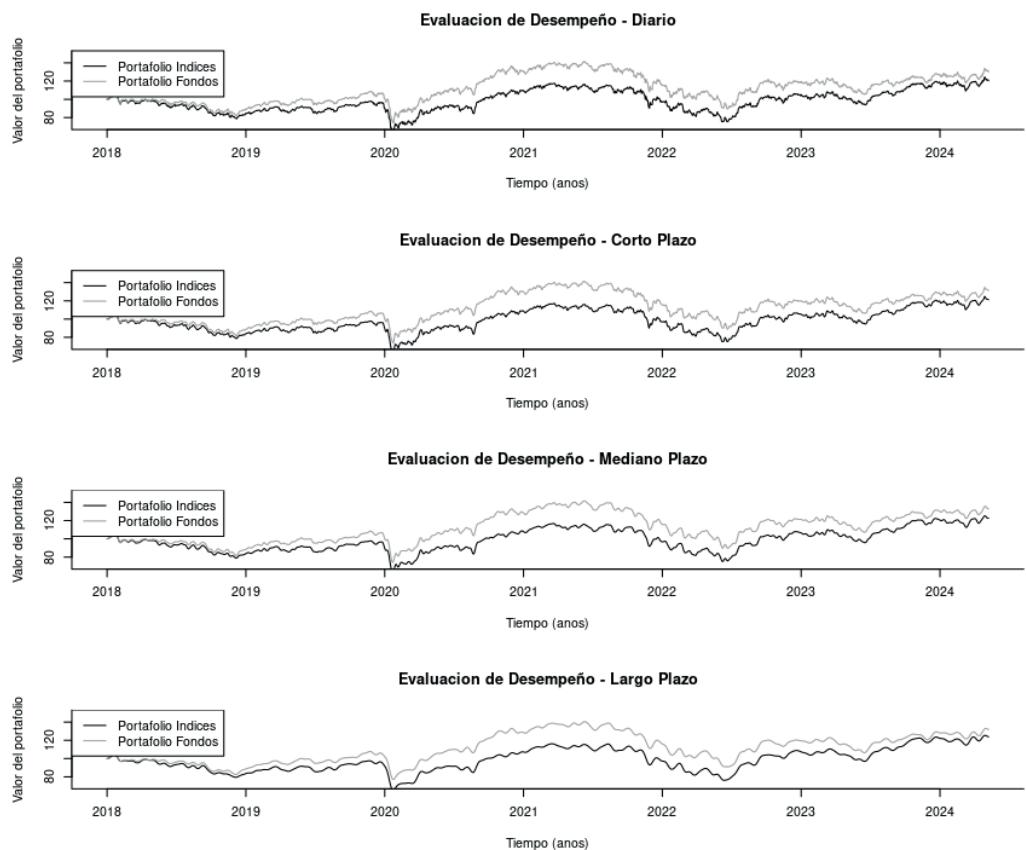
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Japón-Latinoamérica



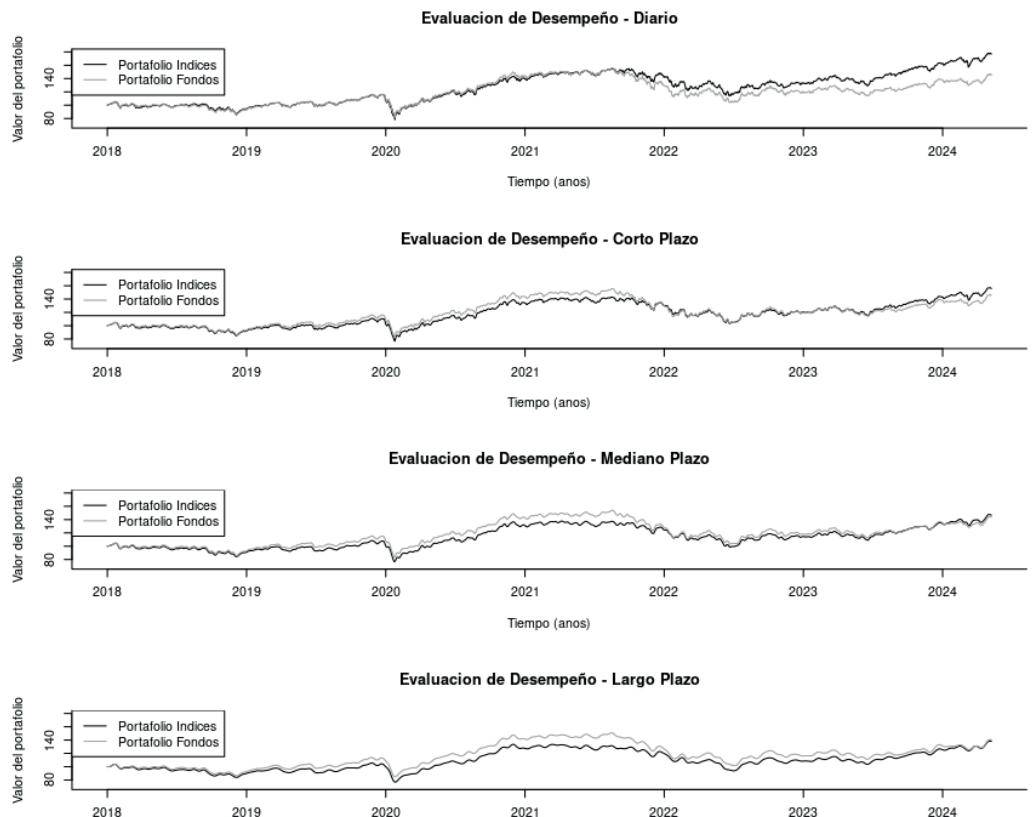
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Asia Pacífico-Eurozona



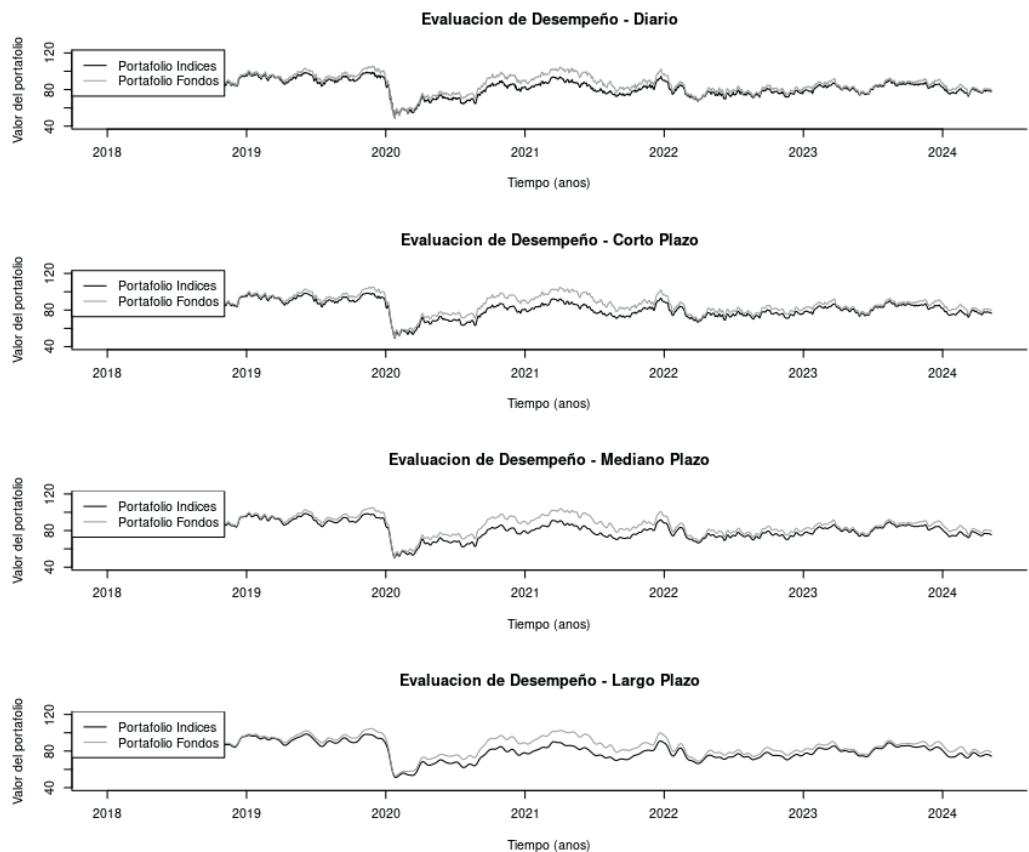
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Asia Pacífico-Estados Unidos



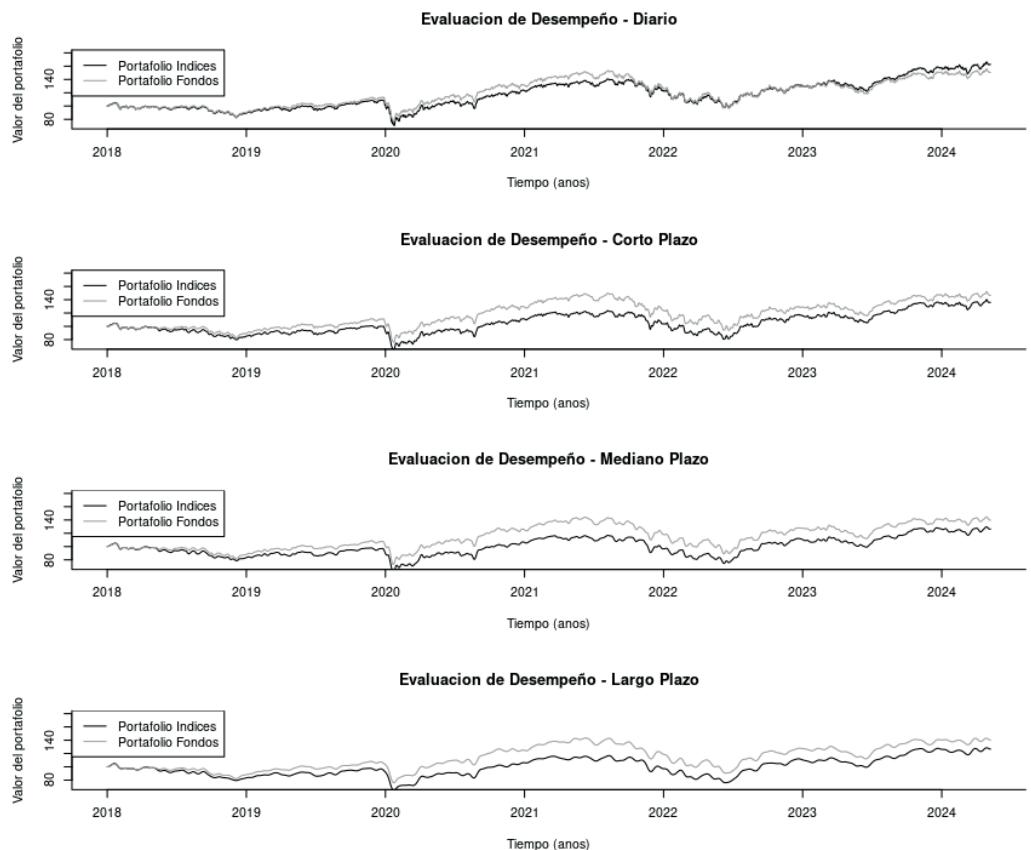
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Asia Pacífico-Latinoamérica



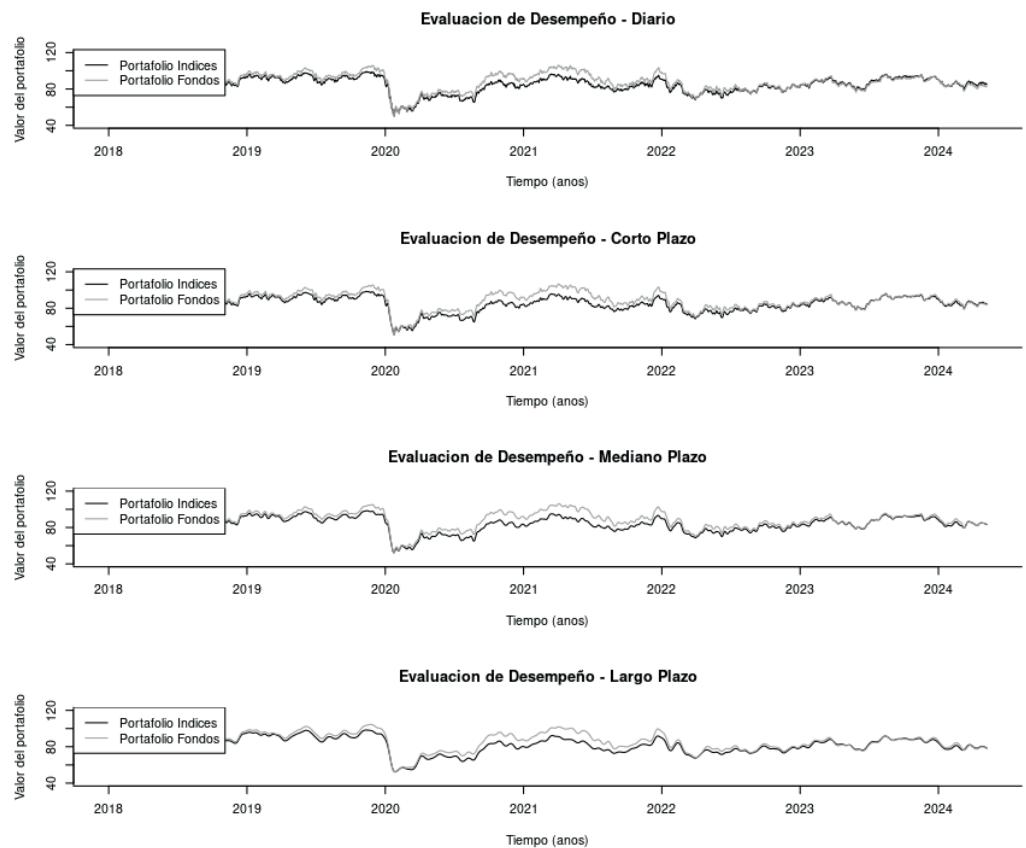
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Eurozona-Estados Unidos



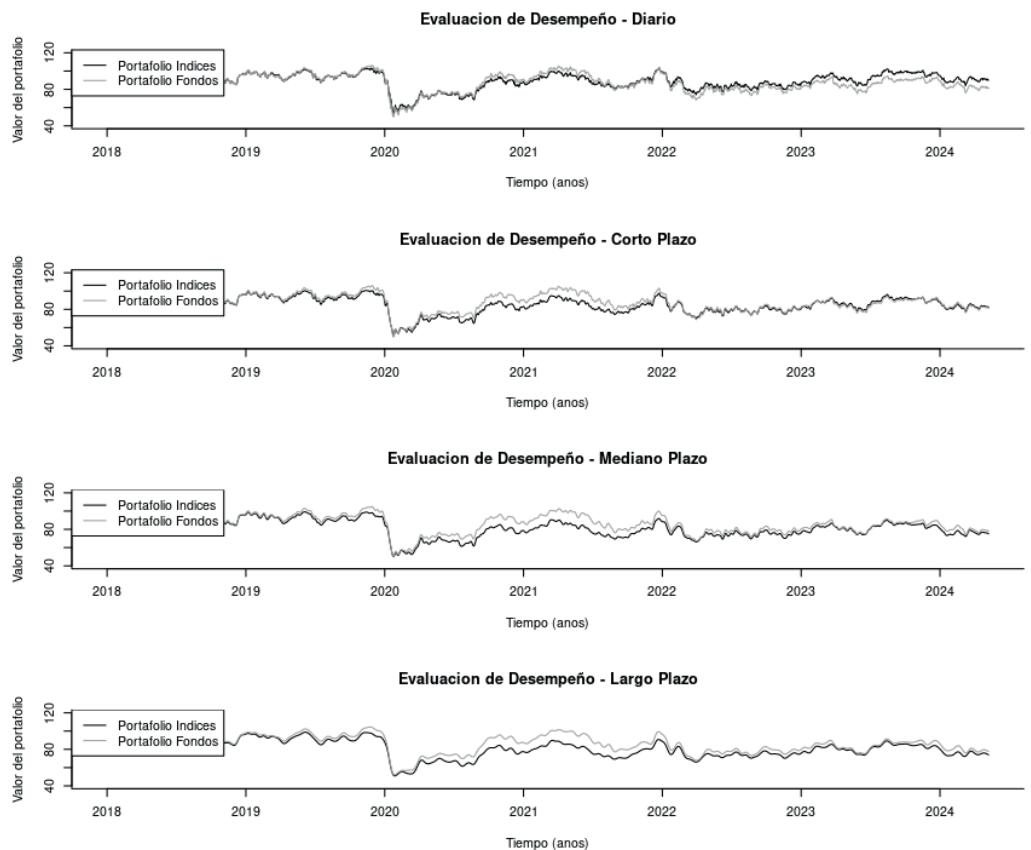
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Eurozona-Latinoamérica



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Estados Unidos-Latinoamérica



Fuente: elaboración propia.