



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Trabajo de Fin de Grado

La eficiencia de los mercados ESG: comparación regional y por nivel de desarrollo de los mercados financieros entre los principales índices S&P ESG y DJSI

Autor: De los Santos Jiménez, Carlos

Directora: Martin Bujack, Karin Alejandra Irene

Madrid

Diciembre 2023

Índice

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 2.	MOTIVACIÓN	5
CAPÍTULO 3.	MARCO TEÓRICO	6
3.1	LA HIPÓTESIS DEL MERCADO EFICIENTE	6
3.1.1	El Movimiento Browniano Geométrico	10
3.2	LA HIPÓTESIS DEL MERCADO FRACTAL	11
3.2.1	El movimiento Browniano Fraccional	16
3.3	LA INVERSIÓN Y LOS MERCADOS ESG	16
3.3.1	La eficiencia de los mercados ESG	19
CAPÍTULO 4.	METODOLOGÍA	21
4.1	SELECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE DATOS	21
4.2	ANÁLISIS EXPLORATORIO	24
4.3	CÁLCULO DEL EXPONENTE DE HURST	25
4.3.1	Método R/S	25
4.3.2	Método DFA	27
4.3.3	Método PRM	28
4.3.4	Intervalos de confianza para el exponente de Hurst	29
CAPÍTULO 5.	RESULTADOS	30
5.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO	30
5.2	CÁLCULO DEL EXPONENTE DE HURST	36
5.2.1	Análisis Regional	38
5.2.2	Análisis por nivel de desarrollo	39
CAPÍTULO 6.	CONCLUSIONES	41
CAPÍTULO 7.	REFERENCIAS	43
CAPÍTULO 8.	ANEXOS	52
8.1	ANEXO I: METODOLOGÍA DE LOS ÍNDICES S&P ESG	52
8.2	ANEXO II: METODOLOGÍA DE LOS ÍNDICES DJSI	54

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Evolución temporal de los índices Dow Jones</i>	31
<i>Figura 2: Correlograma de los precios de los índices Dow Jones</i>	32
<i>Figura 3: Evolución temporal de los índices S&P</i>	33
<i>Figura 4: Correlograma de los retornos logarítmicos de los índices S&P</i>	34
<i>Figura 5: Evolución temporal de los índices S&P (Cont.)</i>	35
<i>Figura 6: Correlograma de los retornos logarítmicos de los índices S&P (Cont.)</i>	35

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Índices ESG seleccionados de la familia S&P</i>	23
<i>Tabla 2: Índices ESG seleccionados de la familia Dow Jones (Cont.)</i>	24
<i>Tabla 3: Estadísticos Descriptivos de los índices de la familia Dow Jones</i>	31
<i>Tabla 4: Estadísticos descriptivos de los índices de la familia S&P</i>	33
<i>Tabla 5: Estadísticos descriptivos de los índices de la familia S&P (Cont.)</i>	34
<i>Tabla 6: Tabla resumen de resultados obtenidos</i>	36
<i>Tabla 7: Tabla resumen de intervalos de confianza obtenidos</i>	37
<i>Tabla 8: Comparación regional del exponente de Hurst de los índices Dow Jones</i>	38
<i>Tabla 9: Comparación regional de los int. de confianza del exponente de Hurst de los índices Dow Jones</i>	38
<i>Tabla 10: Comparación regional del exponente de Hurst de los índices S&P</i>	39
<i>Tabla 11: Comparación regional de los int. de confianza del exponente de Hurst de los índices S&P</i>	39
<i>Tabla 12: Comparación por nivel de desarrollo del exponente de Hurst de los índices Dow Jones</i>	39
<i>Tabla 13: Comparación por nivel de desarrollo de los int. de confianza exponente de Hurst de los índices Dow Jones</i>	40
<i>Tabla 14: Comparación por nivel de desarrollo del exponente de Hurst de los índices S&P</i>	40
<i>Tabla 15: Comparación por nivel de desarrollo de los int. de confianza exponente de Hurst de los índices S&P</i>	40
<i>Tabla 16: Índices subyacentes de la familia S&P ESG</i>	52
<i>Tabla 17: Criterios de exclusión de los índices S&P ESG</i>	53
<i>Tabla 18: Índices subyacentes de la familia Dow Jones SI</i>	55
<i>Tabla 19: Criterios de exclusión de los índices DJSI</i>	56
<i>Tabla 20: Porcentajes referencia en la constitución de los índices DJSI</i>	57

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La predicción del futuro es un ejercicio en el que el ser humano siempre ha intentado obtener la máxima precisión posible. Este deseo se hace evidente en numerosos contextos que van desde aspectos cotidianos como la meteorología hasta un alto grado de concreción como el número de infectados o la propagación de una enfermedad como observamos durante los años de la COVID-19.

En este sentido, los mercados financieros no han sido ajenos a esta tendencia. Numerosos han sido los esfuerzos para predecir el comportamiento de los mercados, desarrollando así técnicas que parten desde el análisis fundamental, pasando por el análisis técnico hasta los nuevos modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Sin embargo, frente a esto, los autores Malkiel y Fama (1970) propusieron la denominada hipótesis del mercado eficiente, en la que definen un mercado eficiente como aquel en el que los precios de los activos que cotizan reflejan plenamente toda la información disponible, y por lo tanto no es posible batir al mercado con una rentabilidad ajustada al riesgo. Diversos autores a lo largo de la historia han desestimado (Degutis & Novickytė, 2014), (Malkiel, 2003), (Coval & Shumway, 2005) y demostrado dicha hipótesis (Malkiel & Fama, 1970), (Solnik, 1973), (Qian & Rasheed, 2005).

Estas investigaciones sobre la eficiencia de los mercados se vieron impulsadas gracias a al trabajo original de Hurst (1951) y el sucesivo trabajo y correcciones de Mandelbrot (1967), que ofrecieron el denominado exponente de Hurst para medir la eficiencia de los mercados; es decir, si los mercados son fractales y como consecuencia tienen memoria, de forma que su movimiento y precios no reflejasen toda la información disponible, no fuesen aleatorios y fueran predecibles.

Este debate financiero sobre la eficiencia o la ausencia de esta en distintos mercados se ha mantenido hasta la actualidad. Adicionalmente, en la era actual, la integración de criterios ambientales, sociales y de gobierno corporativo (ESG, por sus siglas en inglés) se ha convertido en un elemento crucial en la toma de decisiones financieras y de inversión. Estos criterios proporcionan un marco ético y sostenible para evaluar el

desempeño de las empresas, lo que ha llevado al desarrollo de diversos índices ESG diseñados para medir la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa.

A medida que la conciencia sobre los desafíos ambientales y sociales ha crecido, la demanda de inversiones socialmente responsables ha experimentado un aumento significativo. Esta creciente atención a las cuestiones ESG ha llevado al desarrollo de índices específicos destinados a evaluar el rendimiento de las empresas desde una perspectiva sostenible. Por esta razón, es crucial analizar la eficacia de estos índices en diferentes contextos, considerando tanto las disparidades regionales como la distinción entre mercados desarrollados y emergentes.

Capítulo 2. MOTIVACIÓN

El propósito de este trabajo de fin de grado es llevar a cabo una comparación exhaustiva de la eficiencia de diferentes índices ESG a nivel regional y diferenciando entre economías desarrolladas y emergentes. La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de entender cómo estos índices se desempeñan en diversos entornos, considerando las variaciones en los desafíos y oportunidades que enfrentan las empresas en cada región y nivel de desarrollo económico.

Este trabajo, a diferencia de las investigaciones anteriores, ofrece las siguientes novedades:

- Una comparación entre mercados emergentes y desarrollados en una misma región. De esta manera se podrá seguir investigando, tal y como hace la literatura, si los mercados de países emergentes tienden a ser menos eficientes.
- Una comparación regional y global de índices, de manera que se permita concluir si el hecho de incluir empresas de todos los lugares del mundo en un índice ESG, aumenta o disminuye su eficiencia.

Cabe destacar además que esto se llevará a cabo haciendo uso de dos procedimientos adicionales, aparte del rango reescalado, procedimiento habitual, para el cálculo del exponente de Hurst, incluyendo también sus intervalos de confianza.

Este estudio no solo contribuirá a la comprensión general de cómo los índices ESG se comportan en distintas regiones, sino que también proporcionará información valiosa para inversores, empresas y reguladores que buscan mejorar la sostenibilidad y responsabilidad corporativa. Al conocer las diferencias en la eficiencia de estos índices, se podrán tomar decisiones más informadas sobre inversiones sostenibles y estrategias empresariales éticas, y ofrecerán al regulador una información valiosa sobre la necesidad de implementar regulación adicional, o endurecer o hacer más laxa la actual.

Capítulo 3. MARCO TEÓRICO

3.1 LA HIPÓTESIS DEL MERCADO EFICIENTE

La hipótesis del mercado eficiente se remonta al siglo XIX, aunque alcanzó su máximo esplendor en el siglo XX tras el trabajo de los autores Burton Malkiel y Eugene Fama en los años 70 y desde entonces ha generado una gran controversia en el mundo financiero. Este concepto se aplica principalmente a los mercados de capital, y tal como explican estos autores, un mercado es eficiente si los precios de los valores en el mercado reflejan plenamente toda la información disponible (Malkiel & Fama, 1970).

Esto se ha interpretado de múltiples formas a lo largo de la historia, por ejemplo, un mercado eficiente es aquel en el que el valor de mercado de una compañía varía de forma similar al valor intrínseco de la misma (Augustas Degutis, 2014). Otra forma de entender este concepto fue descrita por Allen, Brealey y Myers (2011) al definir un mercado eficiente como aquel en el que un inversor no es capaz de batir al mercado consistentemente en el tiempo.

Teniendo en cuenta la información anterior, Malkiel y Fama (1970) definen tres tipos de mercados eficientes:

1. Mercado eficiente débil: el precio de los activos o el mercado incorpora toda la información histórica disponible, por lo que herramientas algorítmicas que usen información pasada o el análisis técnico resultarán inútiles en el objetivo de batir al mercado.

2. Mercado eficiente semi-fuerte: en este caso, no solo se ve reflejada la información histórica en el precio de los activos, sino que también se actualiza dicho precio en base a la información pública presente, como pueden ser: anuncios de venta o adquisición, pago de dividendos o cambios regulatorios. En este caso el análisis fundamental tampoco resultaría útil como herramienta para batir al mercado.
3. Mercado eficiente fuerte: en este caso el precio de los activos no solo incorpora la información histórica y la información pública actual, sino que también incorpora información de fuentes privadas. Este tipo de mercados son los menos plausibles.

Bajo esta hipótesis Malkiel y Fama (1970) revisan el modelo juego justo basado en dos asunciones básicas: 1) el equilibrio del mercado y los precios de dicho equilibrio pueden ser expresados en términos de rendimientos esperados, 2) la información recopilada en los precios es empleada completamente por el mercado para calcular los rendimientos esperados en equilibrio y, en consecuencia, los precios actuales. Matemáticamente esto es equivalente a expresar que los precios de un determinado activo siguen, un proceso estocástico denominado: martingala, cuya característica principal es la siguiente:

$$E(\tilde{r}_{j,t+1}|\Phi) = 0$$

Siendo $\tilde{r}_{j,t+1}$ el retorno esperado del activo j en el momento temporal $t + 1$ y Φ el conjunto de la información disponible que reflejará la evolución de los precios. Esto implica que la diferencia entre los precios esperados en t para el instante $t + 1$ y los precios observados en $t + 1$ será cero y por lo tanto los activos financieros se comportan como un juego justo.

Una extensión de este modelo es el denominado paseo aleatorio (*random walk*) el cual asume que los movimientos en los precios de las acciones u otros instrumentos financieros son totalmente aleatorios (Samuelson, 1965). Desde la perspectiva de la hipótesis del mercado eficiente, esto se explica debido a que la nueva información es desconocida y su descubrimiento ocurre de manera aleatoria. Esta nueva información es la causante de los cambios en el precio de las acciones u otros instrumentos financieros, por lo que dichos cambios serán aleatorios (Malkiel & Fama, 1970).

Por otro lado, Malkiel y Fama (1970), definen también una serie de asunciones para que un mercado sea considerado eficiente:

1. La ausencia de costes de transacción.
2. La disponibilidad gratuita de toda la información existente para todos los participantes del mercado.
3. El acuerdo por parte de todos los participantes del mercado sobre el efecto de dicha información en el precio actual y en la distribución de precios futuros de las acciones u otros instrumentos financieros.

Estas condiciones rara vez se cumplen en los mercados reales, por esta razón, son únicamente condiciones suficientes, no necesarias. Puede haber mercados eficientes en los que no se cumplan. Esto ejemplifica uno de los grandes problemas de esta hipótesis: la definición de los procedimientos necesarios para determinar si un mercado es eficiente o no a partir de los datos empíricos.

Históricamente se han utilizado distintas medidas entre las que destaca la correlación entre los precios de los activos, por ejemplo, Kendall y Hill (1953) analizan las correlaciones entre los cambios semanales en 19 índices británicos y en el precio del algodón y el trigo, concluyendo que los movimientos de estos parecen aleatorios. Solnik (1973) calculó las correlaciones entre las series temporales que representaban las variaciones de precios en nueve naciones europeas a nivel diario, semanal y mensual. Su análisis condujo a la conclusión de que era difícil establecer estrategias de inversión rentables debido a la presencia de correlaciones extremadamente bajas. También existen medidas alternativas como el coeficiente de Hurst en el que se profundizará posteriormente en este trabajo. Qian y Rasheed (2005) analizan la evolución del índice americano Dow-Jones entre enero de 1930 y mayo de 2004, haciendo uso del exponente de Hurst concluyen que los periodos en los que dicho exponente tiene un valor más alto son aquellos en los que el movimiento del índice se puede predecir con mayor precisión.

Cabe destacar que la veracidad de esta hipótesis se mantiene en discusión en la teoría financiera moderna. Por un lado, la hipótesis del mercado eficiente se ve reforzada por la velocidad en la que viaja la información actualmente y por la rapidez en la ejecución de las compras y las ventas en los mercados de capital gracias a las nuevas tecnologías. Por

otra parte, se observan ciertos patrones y fenómenos que esta hipótesis no es capaz de explicar (Degutis & Novickyte, 2014).

Entre estos fenómenos destacan:

1. Efecto “small-firm”: recogido por Malkiel (2003) que demostraba que entre los años 1963 a 1990, existía una tendencia que determinaba que invertir en compañías más pequeñas reportaba una rentabilidad 1,4 veces mayor que la inversión en compañías más grandes, esto permitía obtener un exceso de retorno ajustado al riesgo y batir al mercado.
2. Efecto *value*: por el que la inversión en activos financieros de tipo *value* poseía mayor rentabilidad que la inversión en activos financieros *growth* (Allen, Brealey and Myers, 2011). Esto se debe a que los inversores tienden a sobrevalorar las proyecciones de crecimiento y las ganancias futuras de las acciones tipo *growth* y por lo tanto tienden a pagar un sobreprecio sobre estas. De acuerdo con Lakonishok et al. (1994) esto supone una ineficiencia del mercado bajo el CAMP (Sharpe, 1964).
3. La sobrereacción de los participantes del mercado ante determinadas informaciones. Mishkin y Eakins (1998) describen que el precio de las acciones tiende a experimentar descensos excesivos y aumentos exagerados en relación con su valor razonable ante nueva información y que esta tendencia se hace más evidente cuando se divulgan noticias desfavorables de manera inesperada.
4. La estacionalidad de los activos, en particular, el denominado “efecto enero” mes en el que los activos tienden a obtener retornos por encima de su media (Mishkin & Eakins, 1998).
5. El comportamiento irracional de determinados participantes del mercado demostrado en el campo de las finanzas conductuales (Augustas Degutis, 2014). Por ejemplo, Coval y Shumway (2005) demuestran que el comportamiento irracional más común es la aversión a la pérdida y concluyen que los inversores son más aversos al riesgo al inicio del día.

Pese a la existencia de estos fenómenos, cabe destacar que la hipótesis del mercado eficiente ha sentado las bases para el desarrollo de teorías y modelos ampliamente aceptados en la teoría financiera como son: la teoría del portafolio de Markowitz (1952),

el modelo CAMP (Sharpe, 1964) o el modelo OPM (“option pricing model”) para opciones (Black & Scholes, 1973).

3.1.1 EL MOVIMIENTO BROWNIANO GEOMÉTRICO

Tal y como se ha comentado previamente, la hipótesis del mercado eficiente supuso un refuerzo al desarrollo de distintos modelos y en especial al modelo del paseo aleatorio.

Un paseo aleatorio es un proceso estocástico que describe una serie de pasos aleatorios en un espacio matemático determinado (Wijesundera et al., 2016). Por ejemplo: la posición de una persona que se mueve en función del resultado de lanzar una moneda, un paso a la derecha si sale cara o un paso a la izquierda si sale cruz, ambos resultados poseen la misma probabilidad. Este concepto de paseo aleatorio fue inicialmente introducido por Karl Pearson (1905).

Formalmente, utilizando el ejemplo anterior, cada lanzamiento de la moneda representa una variable aleatoria: $Z_1; \dots; Z_n$, las cuales pueden tomar el valor “cara” (que modelaremos como 1) o “cruz” (que modelaremos como -1) con la misma probabilidad (1/2). Partiendo de la posición inicial $S_0 = 0$, el conjunto $S_n = \sum_{j=1}^n Z_j$ se denomina paseo aleatorio simple y como característica principal es fácil observar que:

$$E(S_n) = \sum_{j=1}^n E(Z_j) = 0$$

Partiendo de este concepto, y tomando el límite del paseo aleatorio, Norbert Wiener (1923) desarrolló el conocido movimiento browniano que en el ámbito matemático se denomina proceso de Wiener: sea B_t el proceso tal que $\{B_t: t \geq 0\}$, las características principales del movimiento browniano son las siguientes:

1. $B_0 = 0$
2. B_t es continuo
3. Para todo $t \in [t_1, T_N]$, las variables aleatorias

$$B_{t_n} - B_{t_{n-1}}, B_{t_{n-1}} - B_{t_{n-2}}, \dots, B_{t_2} - B_{t_1}$$

Son independientes

4. La distribución de los incrementos $B_{t+h} - B_t$, no dependen de t y tienden a una distribución normal de media 0 y varianza $h \sim N(0, h)$

La publicación por parte de Black, Scholes, y Merton en 1973 del artículo "The Pricing of Options and Corporate Liabilities" establece el movimiento browniano geométrico

como el modelo que describe el comportamiento del precio de los activos y la base para la valoración de opciones y derivados financieros. El movimiento browniano geométrico se define el proceso estocástico en tiempo continuo $\{S_t: t \geq 0\}$ y $S_0 > 0$, que satisface la siguiente ecuación diferencial:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dB_t$$

- dS representa la variación del precio del activo.
- $\mu \in \mathbb{R}$, es la rentabilidad esperada del activo.
- $\sigma > 0$, es la volatilidad del activo.
- dt es un incremento infinitesimal de tiempo.
- dB_t representa un movimiento browniano que otorga el carácter aleatorio al precio del activo.

Al resolver la ecuación se obtiene:

$$S_t = S_0 e^{\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma B_t\right)}, t \geq 0$$

Como podemos observar, esta expresión es coherente con la hipótesis del mercado eficiente ya que el precio de la acción posee un componente aleatorio. Es importante también destacar que unas de las consecuencias de que los activos describan un movimiento browniano geométrico es la ausencia de memoria, es decir tal y como se ha explicado previamente cada incremento (decremento) en el precio es independiente del precio anterior (Ross, 1999).

Frente a esta corriente encontraremos la hipótesis del mercado fractal en la que el movimiento de las acciones u otros instrumentos financieros y los activos es descrito por un movimiento browniano fraccional.

3.2 LA HIPÓTESIS DEL MERCADO FRACTAL

William E. Hurst (1951) publicó un artículo llamado "The Long-term Storage Capacity of Reservoirs," que se traduciría como "La Capacidad de Almacenamiento a Largo Plazo de Embalses" en español. En él analiza 690 series temporales de 75 fenómenos geofísicos

diferentes, los cuales abarcaban una amplia gama de mediciones, desde el nivel de los ríos hasta las precipitaciones, la temperatura y la presión atmosférica con el objetivo de estudiar y entender el movimiento del cauce del río Nilo en Egipto. Para ello, Hurst hizo uso del estadístico denominado: “rescaled adjusted range”, traducido como rango reescalado ajustado:

$$R/S(n) = \frac{\max_{1 \leq k \leq n} \{Y_k - \frac{k}{n} Y_n\} - \min_{1 \leq k \leq n} \{Y_k - \frac{k}{n} Y_n\}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(X_k - \frac{k}{n} Y_n\right)^2}}$$

En el que $\{X_k\}$ es una secuencia de variables aleatorias no necesariamente independientes e Y_n es la n-ésima suma parcial $Y_n := X_1 + X_2 + \dots + X_n$. La razón del uso de este estadístico fue su utilización como aproximación adimensional para la altura ideal de una presa a lo largo de un periodo de tiempo n , por ejemplo, n años. Hurst demostró que el estadístico tendía asintóticamente a n^k . Si las teorías estocásticas sobre el movimiento hidrológico que en ese momento se promulgaron eran ciertas, la estimación de k debería ser igual o cercana a $\frac{1}{2}$ siguiendo el modelo de Hazen (1913), que usó un proceso gaussiano idénticamente distribuido, para modelar estos movimientos. El resultado que Hurst obtuvo fue de $0,72 \pm 0,006$. Esto se denominó el fenómeno de Hurst.

Más tarde, el matemático Benoit Mandelbrot (1967), basándose en el trabajo de Hurst, propone una nueva forma de modelar los mercados de capitales, alejada de la asunción gaussiana. Para este matemático, los mercados financieros y el comportamiento de las acciones u otros instrumentos financieros son explicados por distribuciones de cola pesada (*heavy tailed*) e introduce el concepto de autosimilitud: sea $Y(t)$ un proceso estocástico en tiempo continuo, $Y(t)$ será autosimilar si para todo $c, c > 0$,

$$Y(ct) = c^H Y(t).$$

Utilizando este concepto Mandelbrot, publica una serie de cinco artículos en los que propone el movimiento browniano fraccional (que se explicará en detalle más adelante) y la teoría fractal para explicar el movimiento de los mercados de capital.

Los fractales son un tipo de simetría que se encuentra a menudo en la naturaleza y que posee cuatro características principales. En primer lugar, la autosimilitud, descrita anteriormente. En segundo lugar, la autoafinidad que se refiere a la propiedad de los fractales en la que una parte pequeña de la estructura fractal se parece a la estructura en su conjunto. En otras palabras, si observas una porción de un fractal, esa porción se asemejará a la estructura completa del fractal. En tercer lugar, la multifractalidad es una propiedad de ciertos fractales que establece que, a lo largo del propio fractal, existen regiones con diferentes niveles de rugosidad o volatilidad. Esto significa que algunas partes del fractal pueden ser suaves y otras especialmente irregulares. Por último, la dimensión fractal, que proporciona una medida de la "cantidad de espacio" ocupado por un fractal en comparación con su dimensión euclidiana. A diferencia de las figuras geométricas tradicionales como los círculos o los cuadrados, los fractales tienen dimensiones fractales que pueden ser fraccionarias, lo que significa que llenan el espacio de manera irregular y ocupan más espacio de lo que podría parecer a simple vista. La dimensión fractal es una forma de cuantificar la complejidad y la estructura de un fractal (Mandelbrot, 1983).

Mandelbrot (1967) utiliza la teoría fractal para medir la volatilidad financiera, siendo esto una de sus grandes aportaciones.

Tomando como base este marco teórico, Peters (1994) enuncia la hipótesis del mercado fractal. Para Peters (1994), el precio de un instrumento financiero es descrito por un movimiento browniano fraccional siguiendo una distribución fractal caracterizada por la autosimilitud y la memoria a largo plazo. Esto es debido a la diferencia en horizontes temporales de los inversores. Cada grupo de inversores con diferentes horizontes temporales interpreta la nueva información entrante de manera única y, en consecuencia, reacciona de manera distinta.

Kristoufek (2012) explica que la misma información específica puede interpretarse como una señal de venta para un inversor a corto plazo, pero como una oportunidad de compra para uno a largo plazo, y viceversa. La presencia de inversores con diversos horizontes de inversión contribuye a la estabilidad del funcionamiento del mercado. Sin embargo, cuando un horizonte (o grupo de horizontes) se convierte en dominante, las señales de

venta o compra emitidas por los inversores en ese horizonte pueden no resultar en una acción opuesta para los inversores con otros horizontes, lo que puede llevar a movimientos abruptos en los precios. Teniendo esto en cuenta, la liquidez del mercado, es decir, la disposición de los inversores a negociar entre sí se debe a que la información tiene un efecto diferente en los distintos inversores, ya sea porque la obtienen en momentos diferentes o porque alguna propiedad de sus propias preferencias hace que interpreten la información de forma diferente. En este contexto, Anderson y Noss (2013) explican que es poco probable que los precios del mercado sean completamente impredecibles o aleatorios, con incrementos independientes tal como lo sugiere la EMH, aunque tampoco son totalmente predecibles. En cambio, parecen ubicarse en un punto intermedio. De manera intuitiva, estos autores definen los precios como el resultado de una combinación de información técnica a corto plazo que los inversores de corto plazo utilizan y de información fundamental a largo plazo que es crucial para los inversores a largo plazo. Esta mezcla particular de aleatoriedad en el corto plazo y cierto grado de previsibilidad en el largo plazo es una característica distintiva de la "autosimilitud", que se asemeja a las estructuras fractales.

Tal y como explica Auer (2016) esta es la razón por la que el coeficiente de Hurst ha resultado vital para esta hipótesis, ya que ofrece una medida sobre la eficiencia de los mercados. Esto es debido a su relación con la función de autocorrelación, $\rho(k)$, del proceso estocástico que define el movimiento del precio (Beran, 1996):

$$\rho(k) \sim pk^{2H-2}, k \rightarrow \infty$$

Donde $p = H(2H - 1)$ y H hace referencia al coeficiente de Hurst. Es fácil observar que este valor determina el comportamiento de la función de autocorrelación:

1. Si $H = \frac{1}{2}$, el proceso es aleatorio. Los retornos están incorrelados y no se puede batir al mercado.
2. Si $H > \frac{1}{2}$, el proceso es persistente, es decir, si anteriormente la serie ofrece un dato que está por encima (debajo) de la media, es más probable que el valor siguiente también esté por encima (debajo) de dicho valor anterior, reforzando así la tendencia.

3. Si $H < \frac{1}{2}$, la serie es antipersistente, o con reversión a la media, es decir, si anteriormente la serie ofrece un dato que está por encima (debajo) de la media, es más probable que valor siguiente no lo esté.

El uso del coeficiente de Hurst se ha extendido como medida de eficiencia, permitiendo desarrollar estrategias simples que ofrecen al inversor una metodología para batir consistentemente al mercado ya que puede predecir el comportamiento futuro de la serie. Algunos ejemplos son los siguientes:

1. Batten et al (2013) demuestran que utilizando el coeficiente de Hurst como una regla simple de inversión en los mercados de oro y plata, pueden batirse estrategias simples de *buy and hold* (asociadas a la EMH).
2. Domínguez et al. (2010) demuestran la ineficiencia de determinadas series financieras colombianas haciendo uso de la metodología del rango reescalado para el cálculo del coeficiente.
3. Onali y Goddard (2011) realizaron un análisis fractal en los mercados bursátiles de Europa y Estados Unidos, y descubrieron pruebas de que los logaritmos de los rendimientos de las acciones, cuando se disponen en series temporales, muestran una relación de dependencia a largo plazo, contradiciendo así a la EMH.
4. L. Kristoufek y M. Vosvrda (2014) aplicaron el análisis del exponente de Hurst, la dimensión fractal y la entropía aproximada en 38 índices globales, y llegaron a la conclusión de que los mercados más eficientes se ubican en la Eurozona, específicamente en los Países Bajos, Francia y Alemania, mientras que los menos eficientes se encuentran en América Latina, con Venezuela y Chile como ejemplos destacados.

Estos ejemplos representan una ínfima parte del campo de estudio que se abrió después de que Peters (1994) enunciase su hipótesis del mercado fractal, la cual se ha ido comprobando en distintitos mercados con características diferentes.

3.2.1 EL MOVIMIENTO BROWNIANO FRACCIONAL

El movimiento browniano fraccional (MBF) (Mandelbrot & Van Ness, 1968) se ha utilizado para modelar los mercados de capitales bajo la hipótesis del mercado fractal.

Un MBF (B_H) posee un parámetro Hurst (H), $0 \leq H \leq 1$. El proceso estocástico en tiempo continuo $\{B_H(t): t \geq 0\}$ posee las siguientes propiedades:

1. Tiene su origen en 0.
2. No es estacionario, su varianza depende del tiempo.
3. $E[B_H(t)] = 0, \forall t \in [0, T]$
4. La función de covarianza se define como:

$$E[B_H(t)B_H(s)] = \frac{1}{2}(|t|^{2H} + |s|^{2H} - |t - s|^{2H})$$

En la que H se refiere al coeficiente de Hurst

5. Es autosimilar, siguiendo la definición expuesta anteriormente.
6. Posee dependencia a largo plazo si $H > \frac{1}{2}$.

La interpretación del valor del coeficiente de Hurst es idéntica a la descrita anteriormente.

Es fácil observar que frente al MBG, los incrementos en los precios no son necesariamente independientes entre sí y la varianza del proceso varía en el tiempo. Como se ha adelantado previamente, el movimiento browniano fraccional contradice la hipótesis del mercado eficiente, ya que, si los incrementos no son independientes y existe dependencia a largo plazo, no es posible que los precios actuales muestren o reflejen toda la información disponible. Bajo la hipótesis del mercado fractal sería posible predecir la persistencia en los movimientos de los precios, y batir así al mercado.

3.3 LA INVERSIÓN Y LOS MERCADOS ESG

Las denominadas finanzas sostenibles ponen el foco en la importancia de los principios éticos y morales, la responsabilidad social y el buen gobierno, con el propósito de atender las demandas de los grupos de interés (*stakeholders*), quienes buscan un valor económico a largo plazo que abarque los aspectos relacionados con el medio ambiente, la sociedad y la gobernanza (*ESG: environment, social and governance*) (Harabida et al., 2023). De

acuerdo con el informe de UNCTAD's (2023) el valor de la inversión sostenible en los mercados financieros globales asciende a \$5,8 trillones en 2022, un incremento del 81% respecto a 2020.

Este considerable incremento ha llevado a los investigadores a analizar la influencia ESG en el desempeño empresarial. De acuerdo con Barnett et al. (2020), se han publicado más 6.000 artículos sobre este asunto en los últimos 50 años. Unos de los principales aspectos estudiado en la literatura es el retorno y el riesgo de la inversión ESG.

De Souza Cunha y Samanez (2012) estudian el desempeño del ISE, el índice de sostenibilidad empresarial brasileño. Los autores construyen un porfolio con las compañías que forman parte del índice y comprueban su rentabilidad y su riesgo a través de la ratio de Sharpe (Sharpe, 1966), que permite obtener la rentabilidad diferencial de un porfolio por unidad de riesgo total, y de la ratio de Treynor (Treynor, 1965), que obtiene la rentabilidad diferencial de un porfolio por unidad de riesgo del mercado. Los autores concluyen que las restricciones a la hora de invertir en este tipo de empresas dañan los retornos y el atractivo inversor en términos de riesgo.

Stein et al. (2014) comparan el desempeño financiero de 47 fondos ESG de gestión activa alemanes frente al comportamiento del índice MSCI World Index entre los años 2007 y 2011. Los autores concluyen que la inversión sostenible no supone un sacrificio en términos de rentabilidad financiera.

Continuando con el análisis sobre el efecto de la sostenibilidad en los fondos de inversión, Bofinger et al. (2022) analizan 1559 fondos de gestión activa estadounidenses entre los años 2006 y 2016. Los autores obtienen el ranking ESG de cada fondo al principio y al final del año y el grado de error en las valoraciones que los gestores de los fondos atribuyen a sus inversiones. Los autores concluyen que los fondos con una mayor puntuación ESG en sus inversiones tienden a cometer mayores errores en la valoración a la hora de realizar sus inversiones y a sobrevalorar las empresas reconocidas como sostenibles.

Otro de los aspectos más estudiados en la literatura es el efecto de ser considerada una empresa sostenible en la valoración de esta. Algunos autores como Bertrand y

Mullainathan (2003) o Barnea y Rubin (2010) consideran que los costes asociados a ser una empresa sostenible y socialmente responsable son mayores que las ventajas obtenidas al serlo, lo que decrece el valor de la compañía y por consiguiente su valor de mercado. Otros autores son partidarios de la idea de que las empresas llevan a cabo esfuerzos para ser socialmente responsables siguiendo su propia política interna o adaptándose a la regulación y que de esta manera existe una recompensa no planeada que aumenta su valor (Edmans, 2011).

Guadaño y Sarria-Pedroza (2018) comparan las compañías que pertenecen al FTSE4Good Ibex, el índice de sostenibilidad español frente a las compañías del IBEX-35 y analizan cual es el efecto que genera pertenecer a ese índice y ser sostenible en la valoración de la empresa y la creación de valor. Los autores concluyen que en la valoración no observan cambios significativos y que el valor generado únicamente tiene una influencia positiva en el Estado, negativa en los empleados y sin influencia en el resto de los grupos de interés.

Bofinger, Heyden y Rock (2022) analizan 1.817 compañías estadounidenses entre los años 2004 y 2017. Los autores llevan a cabo una regresión en la que la principal variable explicativa es la puntuación ESG y la variable dependiente es una ratio que mide la diferencia entre la capitalización en el mercado de la empresa y el valor real de la misma. Los autores concluyen que la participación de las empresas en actividades ESG contribuye a un cambio en sus valoraciones. En concreto, en aquellas empresas que ya están sobrevaloradas por el mercado, favorece a un incremento de dicha sobrevaloración y en aquellas empresas minusvaloradas, acerca su valoración en el mercado a su valor real.

Otra de las consecuencias de la extensión de los conceptos ESG, y la sostenibilidad es la creación de índices sostenibles por parte de distintos creadores como el S&P o el FTSE, El número de índices aumentó un 55% en 2022, alcanzando un total más de 50.000 índices ESG globalmente (Boyd, 2022). Debido a la aparición de estos y su fuerte crecimiento, se han llevado a cabo numerosos estudios para comparar el desempeño de este tipo de índices frente a los índices convencionales.

Managi et al. (2012) utilizan un modelo *Markov-switching* (Hamilton, 1989) que permite capturar las dependencias no lineales de los retornos de las acciones para modelar y distinguir correctamente un mercado alcista y bajista a la hora de hacer el análisis. Utilizan datos semanales de índices SRI (*socially responsible investment*, en español inversión socialmente responsables) de los mercados estadounidenses, británicos y japoneses entre los años 2001 y 2008. Los autores concluyen que estos índices durante dicho periodo de tiempo no mostraron un desempeño peor que los índices tradicionales en términos de retorno y que no había diferencias significativas en términos de volatilidad.

Jain et al. (2019) analizan los retornos de los índices globales de Thomson Reuters/S- Network (índices ESG) y los compara con los índices tradicionales utilizando los precios diarios de cierre de estos entre los años 2013 y 2017. Los autores utilizan distintos modelos autorregresivos para comprobar que hay una integración entre los índices convencionales y ESG, que la información fluye entre ellos y que no existen diferencias significativas en términos de retornos.

De Souza Cunha et al. (2019) seleccionan cuatro índices ESG distintos de la familia DJSI (Dow Jones Sustainability Index): uno global, tres regionales y uno nacional. Para analizar su desempeño utilizan las ya mencionadas ratios de Sharpe (Sharpe, 1966), y Treynor (Treynor, 1965). Analizan los periodos entre enero de 2013 y septiembre de 2018. Estos datos los comparan con el índice comparable en cada caso y representativo del mercado. Los autores concluyen que los resultados son heterogéneos en función de las regiones, pero que en algunas de estas la inversión en este tipo de índices ESG representa una buena opción ajustada al riesgo.

3.3.1 LA EFICIENCIA DE LOS MERCADOS ESG

Tal, y como se ha desarrollado previamente, podemos observar que se ha investigado en muchos temas relacionados con el mundo ESG: la relación entre la rentabilidad de las empresas y la participación en este tipo de actividades, el desempeño financiero de los fondos ESG, la comparación entre índices ESG e índices tradicionales.... Sin embargo, existe una menor cantidad de artículos respecto a la eficiencia de los mercados e índices ESG y la mayoría son muy recientes.

Mynhardt et al. (2017) seleccionan datos diarios de 5 índices ESG globales (*Dow Jones Sustainability Index, S&P 500 Environmental & Socially Responsible Index, FTSE4 Good Global Index, the MSCI World ESG Index, and the NASDAQ OMX CRD Global Sustainability Index*) entre el nacimiento de dichos índices hasta 2016 con el objetivo de medir su eficiencia. Los autores llevan a cabo un análisis R/S basado en el exponente de Hurst, previamente mencionado, para medir dicha eficiencia. Además, comparan los resultados obtenidos con la eficiencia y el exponente de Hurst de los índices tradicionales. Los autores concluyen que los índices ESG son menos eficientes que los tradicionales, y que esta ineficiencia es mayor en los mercados emergentes que en los mercados desarrollados y explican que la principal causa de esta ineficiencia son los costes asociados a la divulgación y comprobación de las actividades ESG realizadas por las empresas que forman parte de estos índices.

Caporale et al. (2022) analizan 12 índices ESG y 12 índices tradicionales de la familia de MSCI comparables usando el rango reescalado para medir la eficiencia de estos obteniendo el coeficiente de Hurst. Los autores realizan este análisis de dos formas: tradicional (utilizando todos los datos disponibles para calcular el exponente de Hurst de toda la serie) o con una ventana deslizante (calculando el exponente de Hurst de una partición de la serie temporal, deslizando esta partición hasta el final de la serie). Los autores concluyen que, en términos generales, no hay diferencia en el grado de persistencia y eficiencia entre los índices convencionales y los ESG, aunque destacan que los mercados ESG emergentes tienden a ser menos eficientes. Su principal hipótesis para explicar este fenómeno es que en los mercados emergentes la regulación ESG tiende a ser más laxa, lo que permite a las empresas ofrecer una imagen de responsabilidad social y sostenibilidad que en realidad no tienen, llevando a los inversores a sobrevalorar sus credenciales ESG.

Danila (2022) analiza la eficiencia de 14 índices ESG y SRI regionales y nacionales de distintos mercados emergentes (Brasil, China, Egipto, Indonesia, Malasia, Taiwan, Tailandia, Filipinas y Latino América) entre los años 2017 y 2020. Para ello llevan a cabo dos procedimientos: 1) la prueba de Dicker-Fuller aumentada que comprueba la existencia de una raíz unitaria para establecer si la serie temporal sigue un camino aleatorio o no (Mushtaq, 2011), y 2) la obtención del exponente de Hurst y el análisis del

rango reescalado. Sus resultados llevan a los autores a concluir que estos mercados no son eficientes, ni siguen un camino aleatorio. Sus hipótesis para estos fenómenos son la falta de transparencia en la divulgación de las actividades ESG de las empresas, la regulación inadecuada del gobierno empresarial y posibles sesgos de comportamiento.

Por último, Harabida et al. (2023) analizan y comparan los índices tradicionales y los índices ESG/SRI de los mercados de oriente medio y el norte de África, específicamente, los mercados de Marruecos, Egipto, Turquía, Qatar y Emiratos Árabes Unidos (EAU). De nuevo, los autores hacen uso del exponente de Hurst y el análisis del rango reescalado para comprobar y comparar la eficiencia de los índices tradicionales con los índices ESG. Los resultados obtenidos muestran un elevado grado de ineficiencia, más concretamente, persistencia ($H > 0.5$) en todos los países y para los dos tipos de índices, rechazando así la hipótesis del mercado eficiente.

Capítulo 4. METODOLOGÍA

4.1 SELECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE DATOS

Se han seleccionado los distintos índices ESG de interés. Tal y como se describe en la introducción, la selección de los índices se ha realizado para comparar la eficiencia de dichos índices a nivel de regiones (Europa vs. Asia vs. EEUU vs. África y oriente medio) y a nivel de mercados desarrollados y emergentes. La extracción de los datos se realiza a través de la página oficial de S&P (<https://www.spglobal.com/>) obteniendo el valor de los índices en los últimos diez años de forma que se extrae un valor diario de cierre del índice para cada día en este periodo de tiempo en los que dichos índices han operado. Es importante tener en cuenta que los índices ESG de la familia S&P fueron creados en 2019, pero S&P ofrece una reconstrucción del valor de los índices para años anteriores hasta el 30 de abril de 2010. En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se ofrece una descripción inicial de los datos y los índices seleccionados:

<i>Nombre</i>	<i>Muestras</i>	<i>Integrantes</i>	<i>Descripción</i>
<i>S&P 500 ESG Index</i>	2515	319	Mide el desempeño (ESG) de las empresas que forman parte del S&P 500, índice que representa a las mayores empresas cotizadas de Estados Unidos.
<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	2600	812	Evalúa el desempeño de empresas de diversas regiones de todo el mundo. Selecciona empresas en función de su adhesión a criterios ESG.
<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	2566	244	Realiza un seguimiento del rendimiento de las empresas que cumplen las normas ESG en la región europea.
<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	2600	370	Cubre la región de Asia-Pacífico, excluyendo los mercados emergentes. Selecciona y evalúa empresas en función de sus prácticas ESG de los mercados australianos, japoneses, neozelandesas, surcoreanos, de Singapur y de Hong Kong
<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	2607	392	Cubre la región de Asia-Pacífico, excluyendo los mercados desarrollados. Selecciona y evalúa empresas en función de sus prácticas ESG de los mercados de China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas, Taiwán y Tailandia.
<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	2607	540	Valora el rendimiento de las empresas que cumplen las normas ESG en los mercados emergentes de todo el mundo.
<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	2605	969	Valora el rendimiento de las empresas que cumplen las normas ESG en los mercados desarrollados de todo el mundo
<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	2600	44	Analiza el desempeño de las empresas que han sido seleccionadas por criterios ESG en los mercados emergentes de la región europea (República Checa, Hungría, Polonia y Turquía).
<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	2575	259	Analiza el desempeño de las empresas que han sido seleccionadas por criterios ESG en los mercados desarrollados de la región europea.
<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	2577	35	Realiza un seguimiento del rendimiento de las empresas seleccionadas en base a criterios ESG en los mercados emergentes de Oriente Medio y África (Egipto, Marruecos, Arabia Saudita, Sudáfrica, EAU, Kuwait, Qatar).

<i>Nombre</i>	<i>Muestras</i>	<i>Integrantes</i>	<i>Descripción</i>
<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	2586	11	Realiza un seguimiento del rendimiento de las empresas seleccionadas en base a criterios ESG en los mercados desarrollados de Oriente Medio y África

Tabla 1: Índices ESG seleccionados de la familia S&P

En la Tabla 1, todos los índices excepto el S&P 500 ESG Index (28 de enero de 2019) fueron creados el 6 de mayo de 2019. Los datos cubren el periodo desde que S&P ofrece datos reconstruidos (30 de abril de 2010) hasta el 27 de octubre de 2023. Cabe destacar que algunos índices como el S&P 500 ESG tienen menos integrantes que los que su nombre indica. Esto es debido a que su construcción parte del índice subyacente, (el S&P 500 en este ejemplo, que sí cuenta con 500 integrantes) seleccionando a aquellas empresas que obtienen una puntuación ESG más alta y cumplen con los criterios ESG de S&P. En el Anexo I: Metodología de los índices S&P ESG se ofrece información adicional sobre la construcción de los índices, las puntuaciones ESG y la ponderación de los constituyentes de los índices S&P.

<i>Nombre</i>	<i>Muestras</i>	<i>Integrantes</i>	<i>Descripción</i>
<i>Dow Jones Sustainability U.S. Index</i>	2582	136	El índice evalúa el desempeño del 20% de las 600 principales empresas de Estados Unidos pertenecientes al <i>Dow Jones Sustainability North America Index</i> .
<i>Dow Jones Sustainability World Index</i>	2630	332	Comprende los líderes mundiales en sostenibilidad identificados por S&P Global. Representa al 10% de las 2.500 mayores empresas del índice S&P Global BMI (<i>Broad Market Index</i>) en función de criterios económicos, medioambientales y sociales a largo plazo.
<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	2600	150	Engloba a las empresas líderes en sostenibilidad de Europa, que son identificadas por S&P Global a través de la Evaluación de la Sostenibilidad Corporativa.
<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	2623	159	Diseñado para medir el rendimiento de los líderes en sostenibilidad de Asia-Pacífico identificados por S&P Global. Representa el 20% de empresas que poseen un mejor desempeño en términos económicos, medioambientales y

<i>Nombre</i>	<i>Muestras</i>	<i>Integrantes</i>	<i>Descripción</i>
<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	2528	110	sociales a largo plazo de entre las 600 mayores empresas de la región desarrollada de Asia-Pacífico partiendo del índice S&P BMI Se corresponde con el 10% de las 800 empresas más grandes provenientes de 20 mercados emergentes, seleccionadas en base a criterios económicos, medioambientales y sociales a largo plazo.
<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	2625	268	Monitoriza el desempeño del 10% de las empresas líderes en cada sector de los mercados desarrollados a nivel global, las cuales son seleccionadas a través del S&P Global ESG Score.

Tabla 2: Índices ESG seleccionados de la familia Dow Jones (Cont)

De nuevo, en la Tabla 2, se observan las descripciones de los índices y los datos disponibles en los últimos 10 años. Las descripciones de los índices de ambas familias son similares, pero las mayores diferencias se observan en la construcción de estos (cada uno toma los índices principales de su familia de índices para la construcción de los índices ESG) y en la ponderación y selección de los factores ESG relevantes a la hora de incluir las empresas en sus índices, así como la actualización de estos y los criterios de exclusión. En el Anexo II: Metodología de los índices DJSI, se ofrece esta información sobre los índices Dow Jones.

4.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO

A continuación, se lleva a cabo un análisis inicial que ofrece información básica sobre las series temporales y la evolución de los precios de los índices. Se representará gráficamente la evolución de los precios del índice, así como el correlograma de sus retornos. El correlograma permite realizar un análisis preliminar de la existencia de persistencia en la serie temporal. La representación se construye obteniendo el valor de la función de autocorrelación en un retardo determinado frente a otros retardos. Valores elevados y positivos de autocorrelación en retardos cercanos tienden a indicar persistencia a corto plazo en la serie, mientras que, valores pequeños positivos distintos de 0 en

retardos muy alejados del retardo seleccionado, indican persistencia a largo plazo. De igual manera, ocurre en el caso de valores negativos de autocorrelación con la antipersistencia o reversión a la media (Barros de Lis Arteché, 2022). Es necesario destacar que el correlograma muestra indicios sobre la eficiencia de la serie, que pueden ser reales o no. La verdadera medida de la eficiencia la ofrece el coeficiente de Hurst.

Por otra parte, se ofrecerán los principales valores de la estadística descriptiva: media, mediana, máximo, mínimo, desviación típica, curtosis, asimetría y un contraste de normalidad a través de test de Jarque-Bera (Jarque & Bera, 1980).

4.3 CÁLCULO DEL EXPONENTE DE HURST

Tal y como se ha comentado a lo largo del trabajo, el exponente de Hurst ofrece una medida sobre la eficiencia de aquellos activos o mercados que cotizan. Actualmente en la literatura se puede encontrar distintas formas para su cálculo, en este trabajo nos centraremos en tres de estas. La interpretación del exponente, ya se ha descrito previamente.

Por último, cabe destacar que los métodos se han implementado habiendo uso del lenguaje de programación MATLAB.

4.3.1 MÉTODO R/S

R/S hace referencia a rango reescalado, estadístico que tal y como se ha comentado antes fue utilizado por Hurst (1951). Utilizando este trabajo, Mandelbrot (1972) propone el siguiente método para el estudio de la eficiencia de los activos y mercados cotizados, que además es el más extendido en la literatura para el análisis de datos financieros (Mynhardt et al., 2014):

1. La serie temporal de longitud M de los precios del activo, índice o mercado que cotiza se transforma en una serie temporal de retornos logarítmicos de longitud $N = M - 1$:

$$N_i = \log\left(\frac{Y_{t+1}}{Y_t}\right), \quad t = 1, 2, 3, \dots, (M - 1)$$

Donde N_i representa un elemento de la nueva serie de retornos logarítmicos y Y_t el precio del activo que cotiza en el instante de tiempo t .

2. La serie temporal de los retornos logarítmicos se divide a su vez en A subperiodos contiguos de tiempo de longitud n . Estos subperiodos se denominan I_a con $a = 1, 2, \dots, A$ en los que cada elemento de cada subperiodo se identifica como N_k con $k = 1, 2, \dots, n$.
3. Para cada subperiodo I_a se calcula la media μ_{I_a} y la desviación típica S_{I_a} :

$$\mu_{I_a} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a} \quad S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - \mu_{I_a})^2}$$

4. Tras esto, se obtienen las desviaciones acumuladas respecto de la media de cada uno de los elementos de los subperiodos I_a :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - \mu_a)$$

5. Se obtienen el rango del subperiodo, R_{I_a} , como la diferencia entre la máxima y la mínima desviación acumulada:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}), 1 \leq k \leq n$$

6. Se escala el rango de cada subperiodo dividiéndolo por la desviación típica de este, y se obtiene una media de los rangos escalados:

$$\left(\frac{R}{S}\right)_n = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^A \frac{R_{I_a}}{S_{I_a}}$$

7. Los pasos 1-6 se repiten incrementado el valor de n , es decir, reduciendo el número de subperiodos I_a . Es evidente, que n debe ser un divisor de $(M - 1)$, de forma que $\frac{M-1}{n}$ sea un entero. Sin embargo, como expone Dominguez et al., (2010), en ciertas ocasiones puede ocurrir que el tamaño de la serie no tenga suficientes divisores, en ese caso se descartarán los datos más antiguos para que $\frac{M-1}{n}$ sea entero y se pueda obtener una cantidad significativa de $\left(\frac{R}{S}\right)_n$. En el caso de la implementación desarrollada para este trabajo, se le ofrece al usuario un

límite de datos a descartar. Por ejemplo: si el usuario introduce un 10%, se generarán todos aquellos subperiodos de un tamaño determinado que sea divisor de la longitud de la serie, y subperiodos en los que como mucho haya que descartar el 10% de los datos de la serie para obtener una longitud entera.

8. Por último, se estima el exponente de Hurst, teniendo en cuenta la relación demostrada por Hurst (1951): el estadístico tiende asintóticamente a cn^H , donde c es una constante, n es la longitud de cada subperiodo y H es el exponente de Hurst. A continuación, se puede hacer uso del método de mínimos cuadrados ordinarios para la obtención del exponente llevando a cabo la siguiente regresión:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = \log(c) + H \log(n)$$

4.3.2 MÉTODO DFA

El método o análisis de la fluctuación desestacionalizada (*detrended fluctuation analysis*) fue propuesto Peng et al. (1994) en su estudio de las secuencias del ADN. Más tarde Weron (2002) utilizará este método para el estudio de la dependencia a largo plazo en series financieras y lo comparará con el desempeño del método R/S obteniendo mejores resultados en la detección de persistencia y antipersistencia. El método es el siguiente:

1. La serie temporal de longitud M de los precios del activo, índice o mercado que cotiza se transforma en una serie temporal de retornos logarítmicos de longitud $N = M - 1$:

$$N_i = \log\left(\frac{Y_{t+1}}{Y_t}\right), \quad t = 1, 2, 3, \dots, (M - 1)$$

Donde N_i representa un elemento de la nueva serie de retornos logarítmicos y Y_t el precio del activo que cotiza en el instante de tiempo t .

2. La serie temporal de los retornos logarítmicos se divide a su vez en A subperiodos contiguos de tiempo de longitud n . Estos subperiodos se denominan I_a con $a = 1, 2, \dots, A$ en los que cada elemento de cada subperiodo se identifica como N_k con $k = 1, 2, \dots, n$.
3. Para cada subperiodo I_a se calcula la media μ_{I_a} :

$$\mu_{I_a} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a}$$

4. Tras esto, se obtienen las desviaciones acumuladas respecto de la media de cada uno de los elementos de los subperiodos I_a :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - \mu_a)$$

5. Se hace uso de los mínimos cuadrados ordinarios para obtener la siguiente regresión:

$$X_{k,a} = c_m + b_m k, \quad \{X_{1,a}, \dots, X_{k,a}\}$$

6. A continuación, se obtiene la raíz cuadrada de la fluctuación cuadrática media de cada subperiodo:

$$F_a = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X_{k,a} - c_m - b_m k)^2}$$

7. Obtenemos el valor medio para el tamaño de subperiodo escogido:

$$F_n = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^A F_a$$

8. Al igual que en el método anterior, los pasos 1-7 se repiten modificando la longitud de los subperiodos hasta obtener un conjunto significativo de valores de F_n . El posible inconveniente con los tamaños de los subperiodos se ha gestionado de igual manera que en el método anterior.
9. De nuevo, este estadístico tiende asintóticamente a cn^H , por lo que utilizamos el método de los mínimos cuadrados ordinarios para la estimación del exponente de Hurst a través de la siguiente regresión:

$$\log(F) = \log(c) + H \log(n)$$

4.3.3 MÉTODO PRM

Es el método de regresión de periodograma o PRM (*Peridogram Regression Method*) fue desarrollado por Geweke y Porter-Hudak (1983). Los autores se basaron en la idea de que una serie temporal puede ser expresada como una combinación lineal de funciones senoidales de diferentes frecuencias. Weron (2002) propone el siguiente método para su cálculo:

1. Se obtiene el periodograma de la serie temporal, que es equivalente a obtener la densidad espectral de la serie temporal (Stoica & Moses, 2005) a través de la siguiente expresión:

$$I_T(w_k) = \frac{1}{T} \left| \sum_{t=1}^T r_t e^{-2\pi i(t-1)w_k} \right|^2$$

En la que r_t es el elemento en el instante t de la serie temporal de los retornos logarítmicos, T hace referencia a la longitud de la serie temporal, y $w_k = \frac{k}{T}$, $k = 1, \dots, \lfloor T/2 \rfloor$. Weron (2002) recomendando usar un valor de k tal que $\lfloor T^{0.2} \rfloor \leq k \leq \lfloor T^{0.5} \rfloor$. En la implementación desarrollada se ha utilizado $k = 0.35$, siguiendo la propuesta de Auer (2016).

2. Tras esto haciendo uso del método de los mínimos cuadrados ordinarios se lleva a cabo la siguiente regresión:

$$\log[I_T(w_k)] = c + \kappa \log \left(4 \sin^2 \left(\frac{w_k}{2} \right) \right)$$

3. Por último, obtenemos la estimación del exponente de Hurst:

$$H = \kappa + 0,5$$

El cálculo se basa en que este modelo es equivalente a un ruido gaussiano fraccional con dicho exponente de Hurst (Weron, 2002).

4.3.4 INTERVALOS DE CONFIANZA PARA EL EXPONENTE DE HURST

Siguiendo la metodología propuesta por Dominguez et al., (2010) se ha llevado a cabo el cálculo para la obtención de intervalos de confianza del exponente de Hurst basado en el procedimiento de reordenamiento de Peters (1994).

Los intervalos de confianza se basan en la idea de que, la distribución real de la variable aleatoria estudiada es desconocida y que a lo que tenemos acceso no son más que muestras de la misma, que pueden ser más o menos representativas. De esta manera la estimación de un parámetro de la distribución puede ser dependiente de las muestras usadas, y no ofrecer toda la precisión deseada. Los intervalos de confianza ofrecen una forma de expresar la incertidumbre asociada a una muestra de datos proporcionando un rango en el cual se espera que esté el valor real de un parámetro desconocido. Un intervalo de confianza ayuda a tener en cuenta esta variabilidad al proporcionar un rango dentro del

cual se espera que se encuentre el verdadero valor del parámetro con cierto nivel de confianza (Wolfe & Schneider, 2017).

Como se ha comentado, para el cálculo de estos intervalos para el exponente de Hurst, se ha utilizado el método del reordenamiento de Peters (1994). En él se reordena la serie de forma aleatoria un número elevado de veces (i.e. 10.000) y en cada reordenamiento se obtiene el valor del coeficiente de Hurst por cualquiera de los métodos mencionados. A continuación, se obtiene el valor del percentil 5 de todos los coeficientes obtenidos como límite inferior del intervalo y del percentil 95 como límite superior para la obtención del intervalo al 95% de confianza.

Capítulo 5. RESULTADOS

En este capítulo se ofrecerán los resultados obtenidos tras aplicar la metodología descrita. Inicialmente se ofrecerán los estadísticos descriptivos de cada uno de los índices y posteriormente el cálculo del exponente de Hurst así como sus intervalos de confianza.

5.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO

En la Tabla 3 se ofrecen los principales estadísticos descriptivos de los índices de la familia Dow Jones:

	<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	<i>Dow Jones Sustainability U.S. Index</i>	<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	<i>Dow Jones Sustainability World index</i>
<i>Media</i>	148,55376	1056,9958	129,4975	217,6705	1368,5927	1555,9919
<i>Mediana</i>	146,77	1049,905	127,99	202,41	1315,34	1492,715
<i>Desv.Típica</i>	14,0627	141,8978	14,5933	67,0496	280,551	323,8239
<i>Kurtosis</i>	3,3234	2,8477	2,1008	1,8412	1,9672	1,9867

Asimetría	0,4279	0,0479	0,2482	0,4732	0,4864	0,4983
Min	102,5	671,6	99,82	124,63	901,04	1017,39
Max	184,7	1396,74	161,82	354,18	1964,55	2241,98
Test J-B	91,4641	3,5415	114,2915	240,8254	220,1841	221,3668
p-valor	0	0,01652	0	0	0	0

Tabla 3: Estadísticos Descriptivos de los índices de la familia Dow Jones

Cabe destacar que la mayoría de los índices no siguen una distribución normal, a excepción del *Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index*, ya que el valor del estadístico de Jarque-Bera es elevado y sus p-valores son 0 lo que permite rechazar la hipótesis nula sobre la normalidad de los datos. Por otro lado, los valores de curtosis mayores que 0 nos indican que la distribución parece ser leptocúrtica por lo que tiene colas más pesadas y más picos que una distribución normal. Esto indica que los datos tienen más valores extremos y están más concentrados en torno a la media. La Figura 1 muestra la evolución temporal de los índices entre enero de 2014 y octubre de 2023, todos ellos muestran una tendencia creciente a excepción del *Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index*.

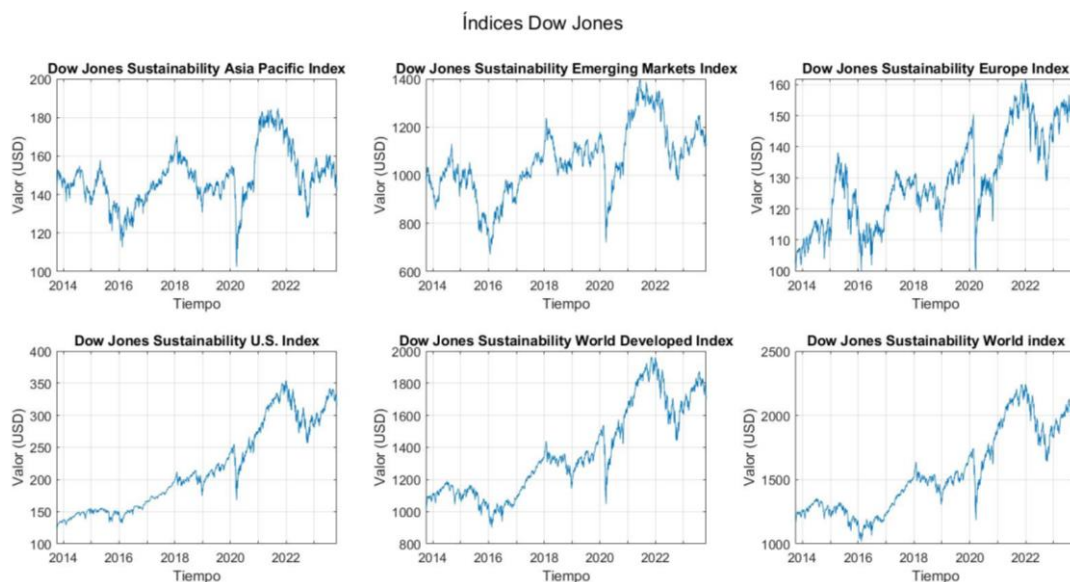


Figura 1: Evolución temporal de los índices Dow Jones

La Figura 2 muestra los correlogramas de estos índices. En ellos podemos distinguir tres comportamientos diferentes. En primer lugar, el comportamiento del *Dow Jones*

Sustainability Asia Pacific Index y del *Dow Jones Sustainability Europe Index* en los que los precios retrasados no son significativos en el valor actual de los mismos. En segundo lugar, el *Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index*, cuyos dos primeros precios retrasados son significativos y positivos lo que podría indicar cierto grado de persistencia en la serie. Por último, el *Dow Jones Sustainability U.S. Index*, el *Dow Jones Sustainability World Developed Index* y el *Dow Jones Sustainability World Index* que presentan numerosos precios retrasados significativos, tanto positivos como negativos, lo que podría indicar un comportamiento antipersistente de la serie.

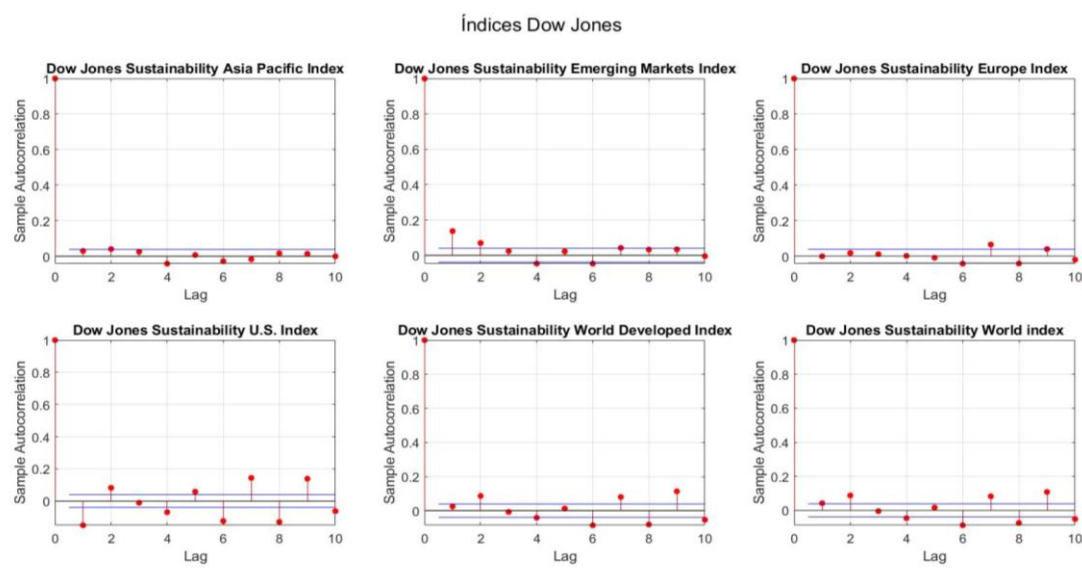


Figura 2: Correlograma de los precios de los índices Dow Jones

A continuación, se ofrece la misma información para los índices S&P:

<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>
---	--	--	---	-------------------------------------	---

<i>Media</i>	126,5422	121,1434	179,8538	83,5614	123,7018	120,9656
<i>Mediana</i>	125,255	119,42	170,07	82,52	123,355	121
<i>Desv.Típica</i>	16,2699	19,0284	41,5647	10,3802	12,8038	12,3062
<i>Kurtosis</i>	2,6157	2,776	1,9726	2,8226	2,7539	2,6934

<i>Asimetría</i>	0,4736	0,5081	0,5697	0,1934	0,1474	0,0682
<i>Min</i>	89,86	83,17	119,15	55,91	85,29	82,23
<i>Max</i>	166,2	174,75	269,86	110,41	153,76	149,56
<i>Test J-B</i>	113,2043	117,6169	255,4694	19,6634	15,7633	12,0802
<i>p-valor</i>	0	0	0	0	0,0011	0,0038

Tabla 4: Estadísticos descriptivos de los índices de la familia S&P

De nuevo, la Tabla 4 muestra la no normalidad de los datos y el carácter leptocúrtico de las distribuciones con curtosis mayores que 0 de los primeros 6 índices de la familia S&P. La Figura 3 muestra la evolución temporal de estos índices:

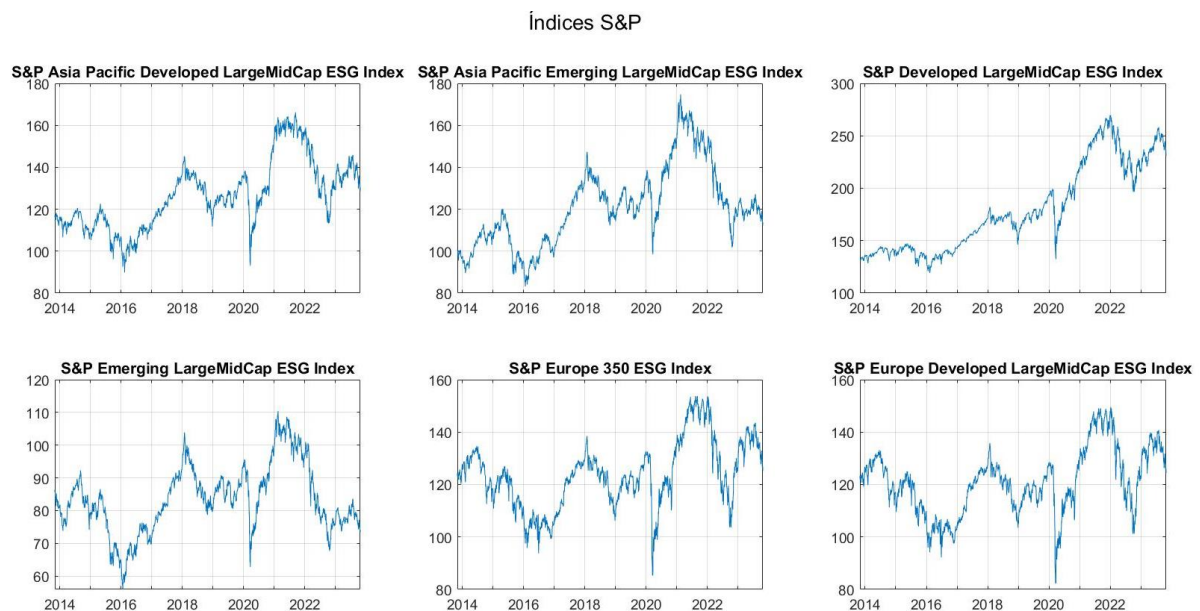


Figura 3: Evolución temporal de los índices S&P

La Figura 4 muestra el correlograma estos índices S&P. En este caso se observan dos comportamientos, por un lado, el *S&P Developed LargeMidCap ESG Index* muestra retornos retrasados significativos tanto positivos como negativo, lo que, como en el caso anterior, podría anticipar un comportamiento antipersistente del índice. Por otro lado, el resto de los índices que no presentan en términos generales retornos retrasados significativos.

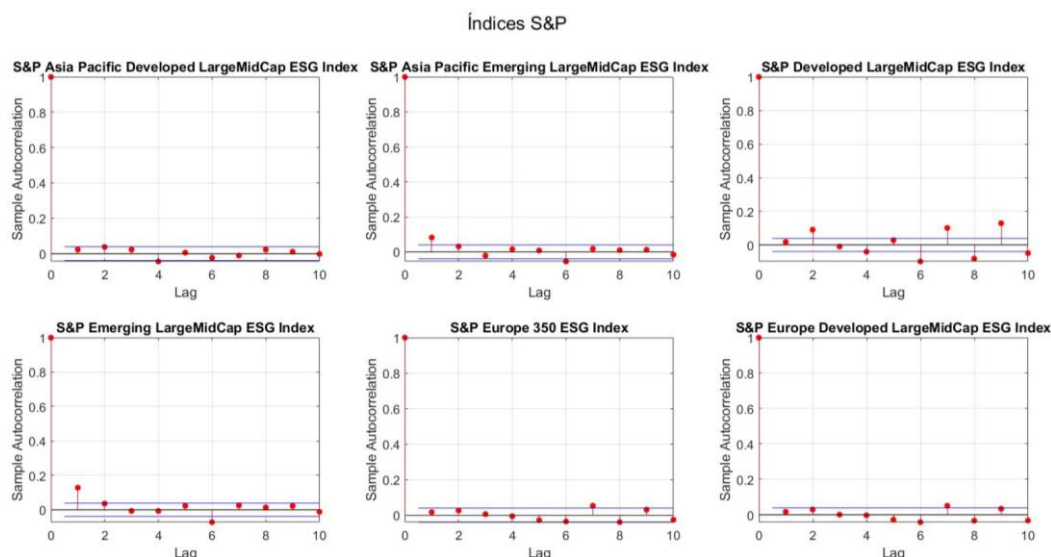


Figura 4: Correlograma de los retornos logarítmicos de los índices S&P

La Tabla 5 muestra los estadísticos descriptivos del resto de índices S&P, que se comportan de igual manera que los anteriores en términos de curtosis y normalidad. La

Figura 5 muestra también la evolución temporal de estos índices:

	<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>S&P 500ESG</i>
--	---	--	--	--	---	---------------------------

<i>Media</i>	120,9656	55,0221	179,5866	103,3086	86,3986	322,4504
<i>Mediana</i>	121	59,485	170,38	103,035	85,455	335,84
<i>Desv, Típica</i>	12,3062	18,502	41,1274	17,9496	11,0152	57,8427
<i>Kurtosis</i>	2,6934	2,9926	1,9364	1,9627	3,0906	1,7195
<i>Asimetría</i>	0,0682	-0,9847	0,5356	0,1506	0,0079	-0,2742
<i>Min</i>	82,23	12,84	118,68	65,31	49,7	190,73
<i>Max</i>	149,56	85,02	267,56	144,42	115	418,01
<i>Test J-B</i>	12,0802	420,1406	246,8546	125,7201	0,9068	96,937
<i>p-valor</i>	0,0038	0	0	0	0	0

Tabla 5: Estadísticos descriptivos de los índices de la familia S&P (Cont.)

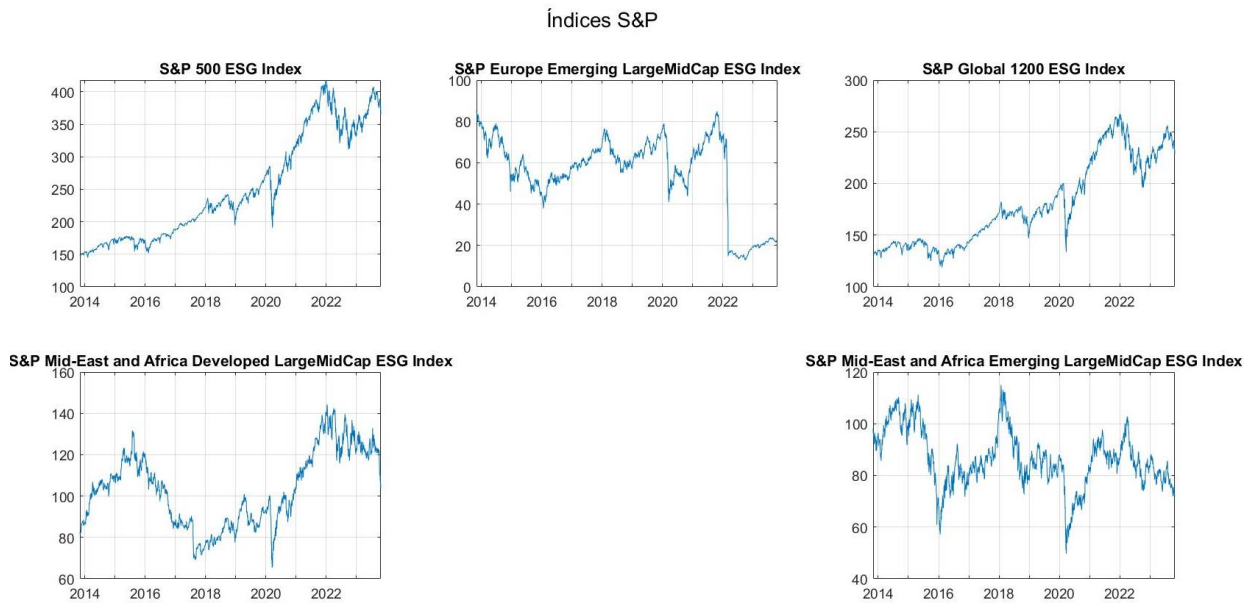


Figura 5: Evolución temporal de los índices S&P (Cont.)

La Figura 6 muestra el correlograma de los índices restantes. En este caso, todos ellos muestran un posible comportamiento antipersistente, a excepción del *S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index*.

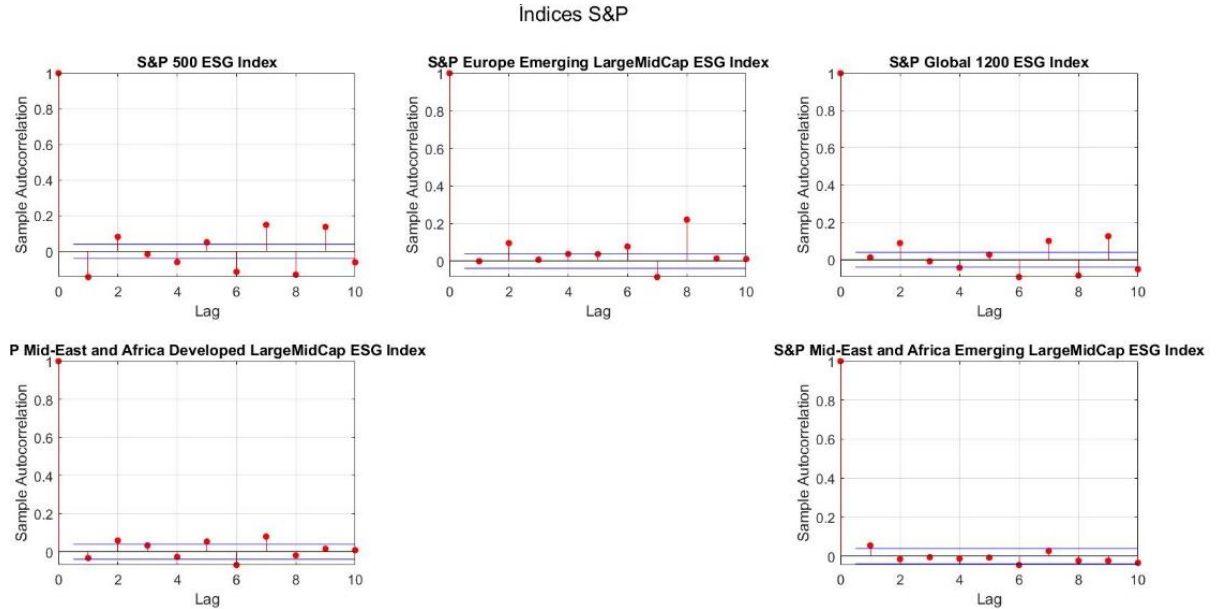


Figura 6: Correlograma de los retornos logarítmicos de los índices S&P (Cont.)

5.2 CÁLCULO DEL EXPONENTE DE HURST

El periodo de tiempo para el cálculo del exponente de Hurst en todos los índices se corresponde con 10 años, desde el 28 de octubre del 2013 hasta el 27 de octubre de 2023. En la Tabla 6 se ofrece un resumen de los resultados obtenido para cada índice y cada método de cálculo, y en la Tabla 7 se ofrecen, de igual manera, los intervalos de confianza.

	<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	0,5869	0,5036	0,4808
<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	0,5864	0,5465	0,458
<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	0,5123	0,4561	0,5072
<i>Dow Jones Sustainability U,S, Index</i>	0,51	0,4609	0,5076
<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	0,5592	0,4962	0,4673
<i>Dow Jones Sustainability World index</i>	0,5692	0,5038	0,4639
<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,6049	0,5043	0,4857
<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6134	0,5237	0,4546
<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5562	0,4884	0,4589
<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6273	0,5362	0,4166
<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	0,5461	0,4919	0,4793
<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5464	0,4892	0,4779
<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6062	0,6521	0,4562
<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	0,5545	0,4829	0,4542
<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5647	0,4875	0,5166
<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,5472	0,4657	0,4653
<i>S&P500ESG</i>	0,496	0,4599	0,5517

Tabla 6: Tabla resumen de resultados obtenidos

		<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4663	0,4441	0,4569
	<i>Sup (95%)</i>	0,6011	0,5486	0,5405
<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4665	0,4504	0,4544
	<i>Sup (95%)</i>	0,5984	0,5527	0,5413
<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4525	0,4428	0,4629
	<i>Sup (95%)</i>	0,6038	0,5526	0,5458
<i>Dow Jones Sustainability U,S, Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4502	0,4563	0,4572
	<i>Sup (95%)</i>	0,6155	0,5632	0,5455
<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4676	0,4538	0,4612
	<i>Sup (95%)</i>	0,6011	0,5598	0,54
<i>Dow Jones Sustainability World index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4543	0,4529	0,4605
	<i>Sup (95%)</i>	0,6091	0,5613	0,5426
<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4561	0,4354	0,4599
	<i>Sup (95%)</i>	0,61	0,5527	0,5419
<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4552	0,4381	0,4526
	<i>Sup (95%)</i>	0,618	0,555	0,5411
<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4623	0,4533	0,4554
	<i>Sup (95%)</i>	0,6089	0,5623	0,5447
<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,455	0,4404	0,4158
	<i>Sup (95%)</i>	0,664	0,5531	0,5435
<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4642	0,4479	0,4566
	<i>Sup (95%)</i>	0,6095	0,5632	0,5425
<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4641	0,4525	0,4548
	<i>Sup (95%)</i>	0,6032	0,5583	0,5465
<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4526	0,5118	0,4587
	<i>Sup (95%)</i>	0,5784	0,611	0,5449
<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4567	0,4508	0,4541
	<i>Sup (95%)</i>	0,6075	0,5624	0,5376
<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4494	0,4498	0,4596
	<i>Sup (95%)</i>	0,6091	0,5546	0,5423
<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4606	0,4446	0,4615
	<i>Sup (95%)</i>	0,6015	0,5505	0,5426
<i>S&P500ESG</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4623	0,4502	0,4557
	<i>Sup (95%)</i>	0,6069	0,5607	0,5524

Tabla 7: Resumen de intervalos de confianza obtenidos

En un análisis preliminar, se observa que los valores del exponente se encuentran generalmente entre el intervalo 0,4-0,6. Además, se observa que excepto en los casos *S&P 500 ESG* y el *Dow Jones Sustainability U.S. Index*, el método *R/S* ofrece el valor más alto para el exponente, lo que es coherente con Weron (2002). Por último, se observa que esta disparidad entre los métodos es mínima, por lo que los intervalos de confianza resultan una herramienta clave para entender correctamente la eficiencia de los índices.

5.2.1 ANÁLISIS REGIONAL

En este apartado se analizará si existen diferencias significativas de eficiencia entre los índices que incluyen empresas de distintas regiones. Comenzando el análisis con los índices del Dow Jones, y comparando las regiones europeas, asiáticas, estadounidenses y globales, observamos en las tablas siguientes que los tres métodos ofrecen valores del exponente muy cercanos a 0,5 aunque en algunos casos las conclusiones sobre la eficiencia pueden ser contradictorias ya que, para un mismo índice, distintos métodos ofrecen un exponente mayor que 0,5 (índice persistente) o menor que 0,5 (índice antipersistente). Sin embargo, los intervalos de confianza resuelven esta contradicción, ya que, en todos los casos, en esta comparación, el valor 0,5 se encuentra dentro del intervalo. Por esta razón, podemos concluir al 95% de confianza que los índices son eficientes y que no existen diferencias de eficiencia significativas entre las distintas regiones de estos índices ESG del Dow Jones.

	<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	0,5869	0,5036	0,4808
<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	0,5123	0,4561	0,5072
<i>Dow Jones Sustainability U.S. Index</i>	0,51	0,4609	0,5706
<i>Dow Jones Sustainability World index</i>	0,5692	0,5038	0,4539

Tabla 8: Comparación puntual regional del exponente de Hurst de los índices Dow Jones

		<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4663	0,4441	0,4569
	<i>Sup (95%)</i>	0,6011	0,5486	0,5405
<i>Dow Jones Sustainability Europe Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4525	0,4428	0,4629
	<i>Sup (95%)</i>	0,6038	0,5526	0,5458
<i>Dow Jones Sustainability U,S, Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4502	0,4563	0,4572
	<i>Sup (95%)</i>	0,6155	0,5632	0,5455
<i>Dow Jones Sustainability World index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4543	0,4529	0,4605
	<i>Sup (95%)</i>	0,6091	0,5613	0,5426

Tabla 9: Comparación regional de los int. de confianza del exponente de Hurst de los índices Dow Jones

Atendiendo a los resultados obtenidos en las tablas anteriores, es fácil observar que ninguna de las estimaciones puntuales para el exponente de Hurst se encuentra fuera de los intervalos de confianza calculados.

A continuación, se ofrece el mismo análisis para los índices de la familia S&P:

	<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	0,5461	0,4919	0,4793
<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	0,5545	0,4829	0,4542
<i>S&P500ESG</i>	0,496	0,4599	0,5517

Tabla 10: Comparación puntual regional del exponente de Hurst de los índices S&P

		<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>S&P Europe 350 ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4642	0,4479	0,4566
	<i>Sup (95%)</i>	0,6095	0,5632	0,5425
<i>S&P Global 1200 ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4567	0,4508	0,4541
	<i>Sup (95%)</i>	0,6075	0,5624	0,5376
<i>S&P500ESG</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4623	0,4502	0,4557
	<i>Sup (95%)</i>	0,6069	0,5607	0,5524

Tabla 11: Comparación regional de los int. de confianza del exponente de Hurst de los índices S&P

Tanto el análisis como las conclusiones son similares: los índices al 95% de confianza son eficientes y no existen diferencias de eficiencia significativas entre las distintas regiones de estos índices ESG del S&P. Cabe destacar que estas conclusiones desestiman los indicios iniciales sobre la eficiencia de los índices descritos a partir de los correlogramas.

5.2.2 ANÁLISIS POR NIVEL DE DESARROLLO

En este apartado se analizará si existen diferencias significativas en términos de eficiencia entre los mercados emergentes y desarrollados de una misma región.

Iniciando de nuevo el análisis con los índices de la familia Dow Jones, se observan unos resultados similares a la comparación regional. Las medidas puntuales del exponente de Hurst ofrecen conclusiones contradictorias, pero los intervalos de confianza incluyen en todos los casos el valor 0,5, por lo que podemos afirmar al 95% de confianza que los índices son eficientes y que no existe diferencia significativa de eficiencia entre los mercados emergentes y los mercados desarrollados en esta familia de índices.

	<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	0,5864	0,5465	0,4058
<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	0,5592	0,4962	0,4673

Tabla 12: Comparación puntual por nivel de desarrollo del exponente de Hurst de los índices Dow Jones

		<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>Dow Jones Sustainability Emerging Markets Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4665	0,4504	0,4544
	<i>Sup (95%)</i>	0,5984	0,5527	0,5413
<i>Dow Jones Sustainability World Developed Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4676	0,4538	0,4612
	<i>Sup (95%)</i>	0,6011	0,5598	0,54

Tabla 13: Comparación por nivel de desarrollo de los int. de confianza exponente de Hurst de los índices Dow Jones

Realizando este mismo análisis en los índices de la familia S&P obtenemos los siguientes resultados:

	<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,6049	0,5043	0,4857
<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6134	0,5237	0,4546
<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5562	0,4884	0,4589
<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6273	0,5362	0,4166
<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5464	0,4892	0,4779
<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,6062	0,6521	0,4562
<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	0,5647	0,4875	0,5166
<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	0,5472	0,4657	0,4653

Tabla 14: Comparación puntual por nivel de desarrollo del exponente de Hurst de los índices S&P

		<i>R/S</i>	<i>DFA</i>	<i>PRM</i>
<i>S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4561	0,4354	0,4599
	<i>Sup (95%)</i>	0,61	0,5527	0,5419
<i>S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4552	0,4381	0,4526
	<i>Sup (95%)</i>	0,618	0,555	0,5411
<i>S&P Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4623	0,4533	0,4554
	<i>Sup (95%)</i>	0,6089	0,5623	0,5447
<i>S&P Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,455	0,4404	0,4158
	<i>Sup (95%)</i>	0,664	0,5531	0,5435
<i>S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4641	0,4525	0,4548
	<i>Sup (95%)</i>	0,6032	0,5583	0,5465
<i>S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4526	0,5118	0,4587
	<i>Sup (95%)</i>	0,5784	0,611	0,5449
<i>S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4494	0,4498	0,4596
	<i>Sup (95%)</i>	0,6091	0,5546	0,5423
<i>S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index</i>	<i>Inf (95%)</i>	0,4606	0,4446	0,4615
	<i>Sup (95%)</i>	0,6015	0,5505	0,5426

Tabla 15: Comparación por nivel de desarrollo de los int. de confianza exponente de Hurst de los índices S&P

En este caso observamos, el primer índice que no es eficiente: *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index*, remarcado en negrita, cuyo intervalo de confianza según el método DFA es [0,5118-0,611]. Además, sus estimaciones puntuales del exponente de Hurst quedan fuera de los intervalos de confianza obtenidos para este índice. Es necesario destacar que el resto de los métodos representan a este índice como eficiente en sus intervalos de confianza. Sin embargo, atendiendo a Weron (2002), ante estas

contradicciones, el método DFA es el más preciso y por lo tanto debe ser el que se prime. Esto lleva a concluir que en Europa los mercados ESG emergentes son persistentes y menos eficientes que los desarrollados.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

Tras analizar la eficiencia de 17 índices ESG, haciendo uso del exponente de Hurst, de diversas regiones del mundo, integrados con empresas que pertenecen tanto a mercados emergentes como mercados desarrollados se pueden extraer principalmente tres conclusiones:

- Los índices ESG estudiados, a excepción del *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index*, son eficientes.
- No existen diferencias significativas en términos de eficiencia entre los índices que incorporan empresas originarias de distintas regiones. Los índices ESG asiáticos son tan eficientes como los europeos, los estadounidenses o los globales y viceversa.
- No existen diferencias significativas en términos de eficiencia entre los índices que incorporan empresas de mercados emergentes, frente a mercados desarrollados, a excepción del caso del *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index*. El grado de desarrollo de los mercados en los que las empresas constituyentes del índice cotizan, no influyen en la eficiencia de estos.

De esta manera, se confirma, a excepción del índice ya comentado, la hipótesis del mercado eficiente (Malkiel & Fama, 1970) para los principales índices ESG de las familias S&P y Dow Jones.

Esta información es especialmente relevante para los inversores, y más concretamente para aquellos partidarios de diversas técnicas como el análisis fundamental o el análisis técnico. Los índices ESG analizados son en su mayoría eficientes, por lo que estas técnicas no serán útiles para batir al mercado de forma consistente y por lo tanto no sería recomendable para este tipo de inversores invertir en estos índices si lo que buscan es maximizar su rentabilidad haciendo uso de las técnicas mencionadas. El caso contrario sería el del *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index* en el que debido a su

ineficiencia, los inversores sí que podrían llegar a desarrollar algún tipo de estrategia capaz de batir al mercado consistentemente y por lo tanto la inversión en este índice si sería atractiva.

Por otro lado, a excepción del *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index*, el regulador competente de cada uno de estos mercados e índices debe mantener su incidencia como hasta ahora ya que cualquier cambio podría convertir estos índices en no eficientes. En el caso del *S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index*, las razones para su ineficiencia podrían ser, tal y como indica Danila (2022), la menor transparencia de las actividades ESG en estos países o la implementación de una regulación errónea. Este resultado debería ser usado por los organismos reguladores de estos mercados para el estudio de las causas de esta ineficiencia y el desarrollo de soluciones a través de una nueva regulación o una modificación de la actual.

Capítulo 7. REFERENCIAS

1. Allen, F., Brealey, R., Myers, S, (2011), Principles of Corporate Finance, New York: McGraw-Hill/Irwin.
2. Anderson, N., & Noss, J, (2013), The Fractal Market hypothesis and its implications for the stability of financial markets, *Social Science Research Network*,
https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID2338439_code459244.pdf?abstractid=2338439&mirid=1
3. Auer, B, (2016), On the performance of simple trading rules derived from the fractal dynamics of gold and silver price fluctuations, *Finance Research Letters*, 16, 255-267, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.12.009>.
4. Augustas Degutis, L, N, (2014), The Efficient Market Hypothesis: A Critical Review of the Literature and Methodology, *EKONOMIKA*.
5. Batten, J, A., Ciner, C., Lucey, B, M., & Szilagyi, P, G, (2013), The structure of gold and silver spread returns, *Quantitative Finance*, 13(4), 561-570, <https://doi.org/10.1080/14697688.2012.708777>.
6. Barnea, A., & Rubin, A, (2010), Corporate social responsibility as a conflict between shareholders, *Journal of Business Ethics*, 97(1), 71-86, <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0496-z>.
7. Barros de Lis Arteché, P, (2022), *Análisis fractal de series temporales de volatilidad: Una actualización de la literatura* [Trabajo de Fin de Grado (TFG)], Universidad Pontificia de Comillas.

8. Beran, J, (1996), Statistics for Long-Memory processes, *Journal of the Royal Statistical Society*, 159(1), 180, <https://doi.org/10.2307/2983481>.
9. Bertrand, M., & Mullainathan, S, (2003), Enjoying the quiet life? Corporate governance and managerial preferences, *Journal of Political Economy*, 111(5), 1043-1075, <https://doi.org/10.1086/376950>.
10. Black, F., & Scholes, M, S, (1973), The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654, <https://doi.org/10.1086/260062>.
11. Bofinger, Y., Heyden, K, J., Rock, B., & Bannier, C, E, (2022), The sustainability trap: active fund managers between ESG investing and fund overpricing, *Finance Research Letters*, 45, 102160, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102160>.
12. Bofinger, Y., Heyden, K, J., & Rock, B, (2022), Corporate social Responsibility and market efficiency: evidence from ESG and misvaluation measures, *Journal of Banking and Finance*, 134, 106322, <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2021.106322>.
13. Boyd, M, (2022, 17 noviembre), Sixth annual Index Industry Association Benchmark Survey reveals continuing record breaking ESG growth,, *Index Industry Association*, <https://www.indexindustry.org/sixth-annual-index-industry-association-benchmark-survey-reveals-continuing-record-breaking-esg-growth-multi-asset-expansion-by-index-providers-globally%EF%BF%BC/>.
14. Caporale, G, M., Gil-Alaña, L, A., Plastun, A., & Makarenko, I, (2022), Persistence in ESG and conventional stock market indices, *Journal of Economics and Finance*, 46(4), 678-703, <https://doi.org/10.1007/s12197-022-09580-0>.

15. Coval, J, D., Shumway, T, (2005), Do behavioral biases affect prices? The Journal of Finance, Vol, 60, issue, 1, p, 1–33.
16. Danila, N, (2022), Random walk of socially responsible investment in emerging market, *Sustainability*, 14(19), 11846, <https://doi.org/10.3390/su141911846>.
17. Degutis, A., & Novickytė, L, (2014), THE EFFICIENT MARKET HYPOTHESIS: a CRITICAL REVIEW OF LITERATURE AND METHODOLOGY, *Ekonomika*, 93(2), 7-23, <https://doi.org/10.15388/ekon.2014.2.3549>.
18. de Souza Cunha, F, A, F., & Samanez, C, P, (2013), Performance Analysis of Sustainable Investments in the Brazilian Stock Market: A Study About the Corporate Sustainability Index (ISE), *Journal of Business Ethics*, 117(1), 19–36, <http://www.jstor.org/stable/42001964>.
19. De Souza Cunha, F, A, F., Meira, E., Orsato, R, J., Klötzle, M, C., Oliveira, F, L, C., & Caiado, R, G, G, (2019), 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>.
20. Domínguez, D, L., Romero, E, A., Freddy, J., Trujillo, M., Luengas, D., & Ardila, E, (2010), Metodología e interpretación del coeficiente de Hurst 1, *Odeon*, 5, 265-290, <https://biblat.unam.mx/es/revista/odeon-bogota/articulo/metodologia-e-interpretacion-del-coeficiente-de-hurst>.
21. Edmans, A., 2011, Does the stock market fully intangibles? Employee satisfaction and equity prices, *J, Financ, Econ*, 101, 621–640.
22. Fama, E,F., Fisher, L., Jensen, M,C., Roll, R., 1969, The adjustment of stock prices to new information, *Int, Econ, Rev*, 10 (1), 1–21, <https://>

23. Freeman, R.E, (1984) *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Pitman, Boston.
24. Friedman, M, (1970, 13 septiembre), A Friedman doctrine-- The Social Responsibility of Business Is to Increase Its Profits, *The New York Times*, <https://www.nytimes.com/1970/09/13/archives/a-friedman-doctrine-the-social-responsibility-of-business-is-to.html>.
25. Geweke, J., & Porter-Hudak, S, (1983), THE ESTIMATION AND APPLICATION OF LONG MEMORY TIME SERIES MODELS, *Journal of Time Series Analysis*, 4(4), 221-238, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.1983.tb00371.x>.
26. Guadaño, J, F., & Sarria-Pedroza, J, H, (2018), Impact of corporate social responsibility on value creation from a stakeholder perspective, *Sustainability*, 10(6), 2062, <https://doi.org/10.3390/su10062062>.
27. Harabida, M., Radi, B., & Gueyié, J, (2023), ESG indices Efficiency in five MENA countries: Application of the Hurst exponent, *Theoretical Economics Letters*, 13(02), 183-201, <https://doi.org/10.4236/tel.2023.132011>.
28. Hazen, A, (1913), Storage to be provided impounding reservoirs for municipal water supply, *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 39(9), 1943-2044, <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0354535>.
29. Hurst, H. E. (1951). Long-Term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116(1), 770-799. <https://doi.org/10.1061/taceat.0006518>

30. Jain, M., Sharma, G, D., & 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>.
31. Jarque, C, M., & Bera, A, K, (1980), Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals, *Economics Letters*, 6(3), 255-259, [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5).
32. Kendall, M, G., & Hill, A, (1953), The Analysis of Economic Time-Series-Part I: Prices, *Journal of the Royal Statistical Society*, 116(1), 11, <https://doi.org/10.2307/2980947>.
33. Kristoufek, L, (2012), FRACTAL MARKETS HYPOTHESIS AND THE GLOBAL FINANCIAL CRISIS: SCALING, INVESTMENT HORIZONS AND LIQUIDITY, *Advances in Complex Systems*, 15(06), 1250065, <https://doi.org/10.1142/s0219525912500658>.
34. Kristoufek, L., & Vošvrda, M, (2014), Measuring capital market efficiency: long-term memory, fractal dimension and approximate entropy, *European Physical Journal B*, 87(7), <https://doi.org/10.1140/epjb/e2014-50113-6>.
35. Kumar, S, & Pankaj, B, (2021), ESG Performance of a Firm is a Measure of Stakeholder's, *SSRN*, <https://ssrn.com/abstract=3945183>.
36. Lakonishok, J., Shleifer, A., & Vishny, R, W, (1994), Contrarian investment, extrapolation, and risk, *The Journal of Finance*, 49(5), 1541-1578, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1994.tb04772.x>.
37. Liu, G., Yu, C., Shiu, S., & Shih, I, (2022), The Efficient Market Hypothesis and the Fractal Market hypothesis: interflaves, fusions, and evolutions, *SAGE Open*, 12(1), 215824402210821, <https://doi.org/10.1177/21582440221082137>.

38. Mandelbrot, B, B, (1967), The variation of some other speculative prices, *The Journal of Business*, 40(4), 393, <https://doi.org/10.1086/295006>.
39. Mandelbrot, B, B., & Van Ness, J, W, (1968), Fractional Brownian motions, fractional noises and applications, *Siam Review*, 10(4), 422-437, <https://doi.org/10.1137/1010093>.
40. Mandelbrot, B,B, (1972) Statistical Methodology for Nonperiodic Cycles: From the Covariance to R/S Analysis, *Annals of Economic and Social Measurement*, 1, 259-290.
41. Mandelbrot, B, B, (1983), The fractal geometry of nature, Times Books.
42. Malkiel, B, G., & Fama, E, F, (1970), EFFICIENT CAPITAL MARKETS: A REVIEW OF THEORY AND EMPIRICAL WORK*, *Journal of Finance*, 25(2), 383-417, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1970.tb00518.x>.
43. Malkiel, B, G, (2003), The efficient Market hypothesis and its critics, *Journal of Economic Perspectives*, 17(1), 59-82, <https://doi.org/10.1257/089533003321164958>.
44. Managi, S., Okimoto, T., & Matsuda, A, (2012), Do socially responsible investment indexes outperform conventional indexes? *Applied Financial Economics*, 22(18), 1511-1527, <https://doi.org/10.1080/09603107.2012.665593>.
45. Markowitz, H, M, (1952), Portfolio selection, *Journal of Finance*, 7(1), 77, <https://doi.org/10.2307/2975974>.
46. Mishkin, F, S., & Eakins, S, G, (1998), Financial markets and institutions, http://elib.fe.unpas.ac.id/index.php?p=show_detail&id=7306.

47. Mynhardt, H, R., Plastun, A., & Makarenko, I, (2014), Behavior of Financial Markets Efficiency during the Financial Market Crisis: 2007-2009, *Corporate Ownership and Control*, 11, 531-546, <https://doi.org/10.22495/cocv11i2c5p4>.
48. Mynhardt, H, R., Makarenko, I., & Plastun, A, (2017), Market efficiency of traditional stock market indices and Social Responsible Indices: The role of Sustainability Reporting, *Investment management & financial innovations*, 14(2), 94-106, [https://doi.org/10.21511/imfi,14\(2\),2017,09](https://doi.org/10.21511/imfi,14(2),2017,09).
49. Mushtaq, R, (2011), Augmented Dickey Fuller test, *Social Science Research Network*, <https://doi.org/10.2139/ssrn.1911068>.
50. Onali, E., & Goddard, J, (2011), Are European equity markets efficient? New evidence from Fractal analysis, *International Review of Financial Analysis*, 20(2), 59-67, <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2011.02.004>.
51. Pearson, K, (1905), The problem of the random walk, *Nature*, 72(1865), 294, <https://doi.org/10.1038/072294b0>
52. Peng, C., Buldyrev, S, V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H, E., & Goldberger, A, L, (1994), Mosaic organization of DNA nucleotides, *Physical review*, 49(2), 1685-1689, <https://doi.org/10.1103/physreve.49.1685>.
53. Peters, E, E, (1994), *Fractal Market Analysis: Applying chaos Theory to investment and Economics*, <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA22486748>.
54. Plastun, A., Bouri, E., Gupta, R., & Ji, Q, (2022), Price effects after one-day abnormal returns in developed and emerging markets: ESG versus traditional indices, *The North American Journal of Economics and Finance*, 59, 101572, <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101572>.

55. Qian, B., & Rasheed, K,M, (2005), HURST EXPONENT AND FINANCIAL MARKET PREDICTABILITY.
56. Rosett, R, N., & Cootner, P, H, (1968), The random character of stock market prices, *Econometrica*, 36(1), 191, <https://doi.org/10.2307/1909613>.
57. Ross, S, An Introduction to Mathematical Finance: Options and Other Topics, 1999.
58. S&P. (2023, octubre). *S&P ESG Index Series Methodology*. Recuperado 28 de noviembre de 2023, de <https://www.spglobal.com/esg/performance/indices/esg-index-family#methodology>
59. Samuelson, P, A, (1965), Proof that properly discounted present values of assets vibrate randomly, *The Bell journal of economics and management science*, 4(2), 369, <https://doi.org/10.2307/3003046>.
60. Sharpe, W, F, (1964), CAPITAL ASSET PRICES: A THEORY OF MARKET EQUILIBRIUM UNDER CONDITIONS OF RISK*, *Journal of Finance*, 19(3), 425-442, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x>.
61. Sharpe, W, F, (1966), Mutual Fund performance, *The Journal of Business*, 39(S1), 119, <https://doi.org/10.1086/294846>.
62. Shiller, R, J, (2003), From efficient markets theory to behavioral finance, *Journal of Economic Perspectives*, 17(1), 83-104, <https://doi.org/10.1257/089533003321164967>.
63. Solnik, B, (1973), NOTE ON THE VALIDITY OF THE RANDOM WALK FOR EUROPEAN STOCK PRICES, *Journal of Finance*, 28(5), 1151-1159, <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1973.tb01447.x>.

64. Stein, Stefan & Kaltofen, Daniel & Mervelskemper, Laura, (2014), Are Sustainable Investment Funds Worth the Effort?, *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 4, 127-146, 10.1080/20430795.2013.837809,
65. Stoica, P., & Moses, R, L, (2005), *Spectral analysis of signals*, Prentice Hall.
66. [Treynor, J,L, \(1965\) How to Rate Management of Investment Funds, *Harvard Business Review*, 43, 63-75.](#)
67. United Nations Conference on Trade and Development, (2023), *World Investment Report*, World Investment Report, <https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023>.
68. Weron, R, (2002), Estimating long-range dependence: finite sample properties and confidence intervals, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 312(1-2), 285-299, [https://doi.org/10.1016/s0378-4371\(02\)00961-5](https://doi.org/10.1016/s0378-4371(02)00961-5).
69. Wiener, N, (1923), Differential-Space, *Journal of mathematics and physics*, 2(1-4), 131-174, <https://doi.org/10.1002/sapm192321131>.
70. Wijesundera, I, Halgamuge, M, N,, Nanayakkara, T,, & Nirmalathas, T, (2016), Background Guide to Random walk analysis, *En Springer natural hazards*, https://doi.org/10.1007/978-981-10-1113-9_2.
71. Wolfe, D. A., & Schneider, G. (2017). Intuitive Introductory Statistics. En *Springer texts in statistics*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56072-4>.

Capítulo 8. ANEXOS

8.1 ANEXO I: METODOLOGÍA DE LOS ÍNDICES S&P ESG

Tal y como se ha comentado a lo largo del trabajo, los índices S&P ESG se construyen partiendo del índice S&P equivalente que no es ESG. En la siguiente tabla se muestra el índice subyacente para cada índice S&P ESG analizado (S&P, 2023):

Índice ESG S&P	Índice subyacente
S&P 500 ESG Index	S&P 500
S&P Global 1200 ESG Index	S&P Global 1200
S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index	S&P Europe LargeMidCap
S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index	S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap
S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index	S&P Asia Pacific LargeMidCap
S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index	S&P European Emerging LargeMidCap
S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index	S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap
S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index	S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap
S&P Developed LargeMidCap ESG Index	S&P Europe Developed LargeMidCap ESG Index
	S&P North America LargeMidCap ESG Index
	S&P Mid-East and Africa Developed LargeMidCap ESG Index
	S&P Asia Pacific Developed LargeMidCap ESG Index
S&P Emerging LargeMidCap ESG Index	S&P Europe Emerging LargeMidCap ESG Index
	S&P Latin America Emerging LargeMidCap ESG Index
	S&P Mid-East and Africa Emerging LargeMidCap ESG Index
	S&P Asia Pacific Emerging LargeMidCap ESG Index
S&P Europe 350 ESG Index	S&P Europe 350

Tabla 16: Índices subyacentes de la familia S&P ESG

A continuación, excluyen de los índices a las empresas de acuerdo con los siguientes criterios:

Participación de Sustainalytics en los productos	Categoría Sustainalytics de Participación y Descripción	Métrica de participación	Nivel de participación Umbral	Umbral de propiedad significativa
Armas controvertidas	A medida y esencial: La empresa participa en el sistema de fabricación de armas principal, o con componentes/servicios de dicho sistema haciendo que se consideren hechas a medida y esenciales para el uso letal del arma.	NA	>0%	≥25%
	No hechos a medida o no esenciales: La empresa suministra componentes/servicios que o bien no se consideran hechos a medida o no esencial para el uso letal del arma.		>0%	≥25%
Carbón térmico	Extracción: La empresa extrae carbón térmico.	Ingresos	≥5%	N/A
	Generación: La empresa genera electricidad del carbón térmico.		≥5%	N/A
Productos del tabaco	Producción: La empresa fabrica productos del tabaco.	Ingresos	>0%	≥25%
	Productos/servicios relacionados: La empresa suministra productos/servicios relacionados con el tabaco.		≥5%	N/A
	Venta al por menor: La empresa obtiene ingresos del distribución y/o venta al por menor de productos del tabaco.		≥5%	N/A
Arenas petrolíferas	Extracción: La empresa extrae arenas petrolíferas.	Ingresos	≥5%	N/A
Armas ligeras	Ciudadanos civiles (armas de asalto): La empresa fabrica y vende armas de asalto a clientes civiles.	Ingresos	>0%	≥25%
	Ciudadanos civiles (armas no de asalto): La empresa fabrica y vende armas pequeñas (no de asalto) a clientes civiles.		>0%	≥25%
	Ciudadanos militares y de las fuerzas de seguridad: La empresa fabrica y vende armas ligeras a las fuerzas armadas y policiales.		>0%	≥25%
	Componentes clave: La empresa fabrica y vende componentes clave de armas pequeñas.		>0%	≥25%
	Comercio minorista/distribución (armas de asalto): La empresa se dedica a la venta al por menor y/o a la distribución de armas de asalto.		≥5%	N/A
	Venta al por menor/distribución (armas no de asalto): La empresa se dedica a la venta al por menor y/o distribución de armas pequeñas (armas que no son de asalto).		≥5%	N/A
Contratación Militar	Armas: La empresa fabrica sistemas de armas militares y/o componentes integrales a medida o estas armas.	Ingresos	≥10%	N/A
	Productos y servicios relacionados con las armas: La empresa suministra productos y/o servicios a medida que sirven de apoyo a las armas militares.		≥10%	N/A

Tabla 17: Criterios de exclusión de los índices S&P ESG

En esta tabla es necesario puntualizar una serie de aspectos. En primer lugar, *Sustainalytics* es una empresa filial de Morningstar encargada de realizar análisis y puntuaciones ESG usada por S&P para obtener la información de los criterios de exclusión. En segundo lugar, el nivel de participación umbral se refiere a la exposición directa (medida con la métrica seleccionada) de la empresa a esos productos. Finalmente, la propiedad significativa indica que la empresa tiene una implicación indirecta a través de un determinado nivel de propiedad en otra empresa que es partícipe de estas actividades (S&P, 2023).

A continuación, se utilizan las puntuaciones ESG de las distintas empresas que no han sido excluidas. Las puntuaciones ESG de S&P DJI provienen de las puntuaciones ESG globales de S&P, que se derivan de la Evaluación Global de la Sostenibilidad Corporativa

(CSA en inglés) de S&P. La CSA Global de S&P utiliza un cuestionario centrado en factores ESG para evaluar la capacidad de las empresas para reconocer y abordar oportunidades y desafíos emergentes en sostenibilidad a nivel global. Se enfoca en cuestiones financieramente relevantes y específicas del sector, abarcando las dimensiones ambiental, social y de gobernanza. Las respuestas de las empresas se valoran y se agregan en criterios, dimensiones y puntuaciones ESG totales, utilizando un esquema de ponderación específico de la industria.

Una vez recogidas las puntuaciones se procede a la construcción de los índices (S&P, 2023):

1. En cada grupo industrial, las empresas se eligen en orden descendente según la Puntuación ESG de S&P DJI hasta alcanzar el 65% de la Capital de Mercado Flotante (FMC) acumulado del universo del índice subyacente.
2. Para cada grupo Industrial, los constituyentes existentes clasificados entre el 65% y el 85% del FMC acumulativo de un grupo industrial se seleccionan para acercarse al objetivo del 75% del FMC.
3. Si la suma del FMC de las empresas seleccionadas no cumple con el objetivo del 75% de FMC, se pueden agregar empresas aún no seleccionadas del Universo Elegible. Estas se eligen en orden descendente según la Puntuación ESG de S&P DJI para acercarse al objetivo del 75% de FMC. Este proceso concluye cuando la adición de la siguiente empresa elegible alejaría el FMC total del grupo Industrial pertinente del objetivo del 75% de FMC.

El peso de cada empresa viene determinado por su FMC. Los rebalances se llevan a cabo anualmente en abril. El resto de las políticas de mantenimiento son idénticas a las de los índices subyacentes.

8.2 ANEXO II: METODOLOGÍA DE LOS ÍNDICES DJSI

En este caso, cada Índice DJSI se basa en un universo invitado de empresas que incluye las mayores empresas por capitalización bursátil ajustada al capital flotante dentro del S&P Global BMI, excluidas las Acciones A de China, más cualquier componente existente del índice cuya capitalización bursátil ajustada al capital flotante supere el

umbral predefinido, tal y como se define en la tabla que figura a continuación (S&P, 2023):

Índice	Universo Invitado	Umbral de capital flotante
DJSI World	Las 2500 mayores empresas del S&P Global BMI	Por encima de US\$ 500 M
DJSI Emerging Markets	Las 800 mayores empresas de mercados emergentes del S&P Global BMI	
DJSI Asia/Pacific	Las 600 mayores empresas de mercados desarrollados de Asia/Pacific del S&P Global BMI	
DJSI Europe	Las 600 mayores empresas de mercados europeos desarrollados del S&P Global BMI	
DJSI US	Las 600 mayores empresas estadounidenses del S&P Global BMI	

Tabla 18: Índices subyacentes de la familia Dow Jones SI

Partiendo del universo invitado, encontramos, al igual que en los índices S&P ESG los siguientes criterios de exclusión:

Participación de Sustainalytics en los productos	Categoría Sustainalytics de Participación y Descripción	Métrica de participación	Nivel de participación Umbral	Umbral de propiedad significativa
Entretimiento para adultos	Producción: La empresa se dedica a la producción de entretenimiento para adultos y/o posee/explota entretenimiento para adultos establecimientos.	Ingresos	>0%	N/A
	Distribución: La empresa se dedica a la distribución de material de entretenimiento para adultos.		>0%	
Bebidas Alcohólicas	Producción: La empresa fabrica bebidas alcohólicas.	Ingresos	>0%	
Armas Controvertidas	A medida y esencial: La empresa participa en el sistema principal, o en componentes/servicios del sistema principal que se consideran hechos a medida y esenciales para el uso letal de las armas.	N/A	>0%	≥10%
Apuestas	Operaciones: La empresa posee y/u opera un establecimiento de apuestas.	Ingresos	>0%	N/A
	Equipamiento especializado: La empresa fabrica equipamiento especializado, usado únicamente para apostar.		>0%	
Contratos Militares	Armas: La empresa fabrica sistemas de armas militares y/o componentes integrales a medida o estas armas.	Ingresos	≥5%	N/A
	Productos y servicios relacionados con las armas: La empresa suministra productos y/o servicios a medida que sirven de apoyo a las armas militares.			
Energía Nuclear	Producción: La empresa produce energía nuclear.	Ingresos	>0%	N/A
	Distribución: La empresa distribuye energía de origen			

	nuclear. Productos de apoyo y servicios: La empresa ofrece productos de apoyo y servicios a la industria de la energía nuclear			
Armas ligeras	Cientes civiles (armas de asalto): La empresa fabrica y vende armas de asalto a clientes civiles.	Ingresos	≥5%	N/A
	Cientes civiles (armas no de asalto): La empresa fabrica y vende armas pequeñas (no de asalto) a clientes civiles.			
	Cientes militares y de las fuerzas de seguridad: La empresa fabrica y vende armas ligeras a las fuerzas armadas y policiales.			
	Componentes clave: La empresa fabrica y vende componentes clave de armas pequeñas.			
	Comercio minorista/distribución (armas de asalto): La empresa se dedica a la venta al por menor y/o a la distribución de armas de asalto.			
	Venta al por menor/distribución (armas no de asalto): La empresa se dedica a la venta al por menor y/o distribución de armas pequeñas (armas que no son de asalto).			
Tabaco	Producción: La empresa produce productos del tabaco.	Ingresos	>0%	N/A

Tabla 19: Criterios de exclusión de los índices DJSI

Una vez excluidas las empresas que no cumplen estos criterios, la construcción de los índices es similar al caso anterior. En primer lugar, se obtienen las puntuaciones ESG utilizando el mismo procedimiento que en el caso de los índices S&P. En segundo lugar, los componentes de los índices DJSI se seleccionan de cada universo elegible para alcanzar el porcentaje objetivo de empresas invitadas en cada sector elegible, sujeto a normas de amortiguación para reducir la rotación:

1. Dentro de cada sector elegible, se ordenan todas las empresas invitadas en orden descendente por su Puntuación S&P Global CSA.
2. Dentro de cada sector elegible, se seleccionan aquellas empresas que se encuentren en el universo elegible y en el porcentaje objetivo superior del universo invitado ordenado por su puntuación ESG. Se seleccionará un mínimo de una empresa elegible, incluso si el porcentaje objetivo del universo invitado ordenado es inferior a uno.
3. De las empresas restantes, se seleccionan aquellas del universo elegible que se encuentren a menos de 0,6 puntos ESG de la última empresa seleccionada en el paso (2), aunque ello suponga superar el porcentaje objetivo.

4. Se seleccionan del resto de empresas elegibles entre aquellas que cumplan los siguientes criterios:
 - a. Constituyentes existentes del respectivo índice DJSI.
 - b. Que se encuentren en el porcentaje de amortiguación superior de todas las empresas invitadas en el sector elegible determinado.

Los porcentajes objetivo y de amortiguación varían según el índice de referencia DJSI:

Índice	Porcentaje Objetivo (%)	Porcentaje de Amortiguación (%)
DJSI World	10	15
DJSI World Enlarged	20	30
DJSI Emerging Market	10	15
Regiones: • DJSI Europe • DJSI North America • DJSI Asia/Pacific	20	30
DJSI Australia	30	45
DJSI Korea	30	45

Tabla 20: Porcentajes referencia en la constitución de los índices DJSI

Los índices Dow Jones se ponderan por capitalización bursátil ajustada a la cotización. Trimestralmente, la ponderación máxima de cualquier componente de la familia de índices de referencia está limitada al 10% del índice (S&P, 2023). Los rebalances se llevan a cabo anualmente en diciembre. El resto de las políticas de mantenimiento son idénticas a las de los índices subyacentes.