
Tesis Doctoral:

Arbitraje Estadístico en Mercados Emergentes:
Un test Global de Eficiencia
(Statistical Arbitrage in Emerging Markets: A
Global Test of Efficiency)

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS ECONÓMICAS, EMPRESARIALES
Y JURÍDICAS



Autor	Karen Andrea Balladares Ponguillo
Director	Dr. Juan Evangelista Trinidad Segovia
Codirector	Dr. Miguel Ángel Sánchez Granero
Fecha	Octubre de 2022

D. JUAN EVANGELISTA TRINIDAD SEGOVIA, Profesor Titular del Área de Dirección y Gestión de Empresas del Departamento de Economía y Empresa de la Universidad de Almería y D. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ GRANERO Profesor Titular del Área de Geometría y Topología del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Almería,

CERTIFICAN: que la presente memoria "*Arbitraje Estadístico en Mercados Emergentes: Un test Global de Eficiencia*" ha sido realizada bajo su dirección por Karen Andrea Balladares Ponguillo, en el Área de area del Departamento de Economía y Empresa de la Universidad de Almería, y constituye su tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Económicas, Empresariales y Jurídicas (RD 99/11).

Y para que así conste, presentan la referida tesis, firmando el presente certificado.

Almería, octubre de 2022

V.B. del Director,

V.B. del Codirector,

Fdo.: Juan Evangelista Trinidad Segovia

Fdo.: Miguel Ángel Sánchez Granero

La aspirante,

Fdo.: Karen Andrea Balladares Ponguillo

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme presentar el presente trabajo doctoral. A toda mi familia por su apoyo constante.

Deseo expresar mi agradecimiento al Director de esta tesis, *Dr. Juan Evangelista Trinidad Segovia*, por la dedicación, paciencia y todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo. Así mismo, agradezco al codirector de la tesis, *Dr. Miguel Angel Sánchez Granero*, por su orientación y predisposición a despejar cualquier duda. Estaré siempre en deuda con ambos.

Arbitraje Estadístico en Mercados Emergentes: Un test Global de Eficiencia

Resumen

La presente tesis doctoral tiene como propósito comprobar la validez de la Hipótesis de Mercado eficiente, a través una técnica de arbitraje estadístico basada en el exponente de Hurst. Utilizamos un método de arbitraje estadístico en diferentes países desarrollados y emergentes, para demostrar que la rentabilidad de la estrategia se basa en el grado de eficiencia del mercado. Nuestro método consiste en una estrategia de Pairs Trading basada en el concepto de reversión a la media seleccionando series de pares que tienen el exponente de Hurst más bajo. También mostramos que cuanto más bajo sea el exponente de Hurst de la serie de pares, mejor es la rentabilidad que se obtiene. La muestra está compuesta por los índices bursátiles de Mercados Emergentes, Brasil y Chile.

Así mismo, se ha considerado ampliar el análisis con las 50 empresas de mayor capitalización a nivel mundial, y se analiza el desempeño de la estrategia durante el período desde el 1 de enero de 2000 al 10 de abril de 2020. Para un análisis más profundo, este período se dividió en tres subperíodos diferentes y también se consideran diferentes carteras. Demostramos que la estrategia es más rentable en los mercados emergentes y en periodos de mayor incertidumbre.

Palabras Claves: mercados emergentes; Pairs Trading; exponente de Hurst; mercados financieros; larga memoria; co-movimiento; eficiencia,

Statistical Arbitrage in Emerging Markets:A Global Test of Efficiency

Abstract

The purpose of this doctoral thesis is to test the validity of the Efficient Market Hypothesis, through a statistical arbitrage technique based on the Hurst exponent. We use a statistical arbitrage method in different developed and emerging countries, to show that the profitability of the strategy is based on the degree of market efficiency. Our method consists of a Pairs Trading strategy based on the concept of mean reversion by selecting series of pairs that have the lowest Hurst exponent. We also show that the lower the Hurst exponent of the paired series, the better the profitability obtained. The sample is made up of the stock indices of Emerging Markets, Brazil and Chile.

Likewise, it has been considered to extend the analysis with the 50 companies with the largest capitalization worldwide, and the performance of the strategy is analyzed during the period from January 1, 2000 to April 10, 2020. For a deeper analysis , this period was divided into three different sub-periods and different portfolios are also considered. We show that the strategy is more profitable in emerging markets and in periods of increased uncertainty.

Keywords: emerging markets; pairs trading; Hurst exponent; financial markets; long memory; co-movement; efficiency.

Índice general

Agradecimientos	III
1. Introducción	3
1.1. Introducción	4
1.1.1. Antecedentes y justificación de la investigación	4
1.1.2. Objetivos de la investigación	6
1.1.3. Estructura de la tesis	7
2. Revisión de Literatura	9
2.1. La eficiencia del mercado: una revisión de la literatura	10
2.1.1. La Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH)	10
2.1.2. La Hipótesis del Mercado Adaptativo (AMH)	33
2.1.3. La Hipótesis del Mercado Fractal (FMH)	52
3. Fundamentos de Pairs Trading	57
3.1. El Arbitraje Estadístico	58
3.1.1. Caracterización	58
3.1.2. Una revisión de las principales aportaciones de la literatura financiera	61

3.2. El Pairs Trading como modalidad de Arbitraje Estadístico	71
4. Arbitraje estadístico basado en el Exponente de Hurst	81
4.1. El Exponente de Hurst y su aplicación en el ámbito de las finanzas	82
4.2. Métodos para el cálculo del Exponente de Hurst	85
4.3. Desarrollo del modelo de arbitraje	89
4.3.1. Selección de pares	91
4.3.2. Estrategia comercial	93
5. Resultados	95
5.1. Resultados Empíricos	96
5.1.1. Resultados de la estrategia de arbitraje en los mercados Latinoame- ricanos	96
5.1.2. Resultados de la estrategia de arbitraje en los mercados mundiales .	117
6. Conclusiones	149
6.1. Principales resultados de la investigación	150
6.2. Limitaciones y futuras líneas de investigación	152
7. Bibliografía	155

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes y justificación de la investigación

Tal como señalan numerosas investigaciones Barna (2016) [21]; Kristoufek (2012) [137]; Kristoufek y Vosvrda (2014) [138]; Kumar y Bandi (2015) [140]; Lim (2007) [150] la hipótesis de eficiencia de mercados (EMH), propuesta por Fama (1965) [78] ha sido la referencia para los estudios en el ámbito de las finanzas durante las últimas cuatro o cinco décadas. Kristoufek y Vosvrda (2014) [137] señalaron que la EMH es la piedra angular de las finanzas modernas; así mismo, que la idea principal de EMH es que los rendimientos ajustados al riesgo no pueden predecirse sistemáticamente y que no pueden haber ganancias a largo plazo por encima de las ganancias del mercado que asumen el mismo riesgo. La definición de EMH también está estrechamente relacionada con una noción de agentes homogéneos racionales y la distribución Gaussiana de los rendimientos.

Por otra parte, Noakes y Rajaratnam (2016) [183] indicaron que en un mercado eficiente de acciones, los precios reflejan toda la información disponible, y que cualquier nueva información es asimilada rápidamente por el mercado y reflejada nuevamente en sus valores. Fue Roberts [203] en 1967, quien menciona que existen tres formas de eficiencia de mercados de acciones:

- La forma débil, que describe cómo los precios de las acciones reflejan toda la información histórica de los precios y los volúmenes a negociar en el mercado.
- La forma semi-fuerte, que postula que los precios de las acciones están determinados por cualquier tipo de información pública referente a las mismas acciones.
- La forma fuerte, que afirma que los precios de las acciones reflejan toda la información de las dos formas anteriores de eficiencia, añadiéndose la información que es solo conocida por agentes cercanos a las compañías que emiten las acciones.

Según Malkiel y Fama (1970) [161] las siguientes serían las condiciones suficientes para

que un mercado sea eficiente: (a) inexistencia de costos de transacción, (b) toda la información disponible se puede obtener sin costo por todos los participantes del mercado, (c) todos los participantes están de acuerdo con las implicaciones que la información actual existente tiene sobre los precios actuales y las distribuciones de los precios futuros de cada activo. Por consiguiente, si un mercado reúne estas condiciones, el precio de cada activo reflejaría plenamente toda la información disponible.

Pese a toda la literatura existente, recientes investigaciones han realizado profundas críticas a los supuestos de estas hipótesis. Kumar y Bandi (2015) [140] señalaron que la EMH propone algunos supuestos implícitos respecto al comportamiento del inversor: (a) que los inversores tienen un comportamiento racional, (b) que los inversores toman decisiones individualmente, y (c) que son capaces de procesar toda la información disponible inmediatamente. Sin embargo, estos mismos autores realizaron una crítica a estos supuestos señalando que un mercado financiero se compone de diferentes grupos de inversionistas cuyos horizontes de tiempo pueden variar de segundos a años. Que para cada inversor el mismo conjunto de información puede tener un valor diferente y pueden tratarlo acorde a sus valoraciones individuales. Además, no es que actúen solo individualmente, pueden actuar formando grupos y cada grupo puede tener sus propias reglas y estrategias comerciales diferentes, donde la información particular tratada como una pérdida potencial por un grupo podría ser tratada como una oportunidad de obtener ganancias por parte de otro grupo, por lo que claramente el principio de homogeneidad de los inversores y el principio de que toman decisiones individuales son irreales y no se cumplen en la práctica. Por otro lado, Malkiel (2003) [165] argumentó que la racionalidad de los inversores no siempre se puede dar por sentada y que no siempre existen incentivos para que estos descubran la información que se refleja en el mercado a través de los precios. Continuando con las críticas, Spronk y Trinidad (2005) [225] señalaron que en los datos financieros existen muchos problemas de asimetría y apuntalamiento que impiden que los retornos de las acciones se distribuyan de manera normal, incumpléndose otro supuesto subyacente de la EMH propuesta por Fama (1965) [78], el de la distribución normal de los retornos.

Con fundamento en la evidencia científica que conecta claramente los procesos de pensamiento y comportamiento racional con la capacidad de sentir y procesar emociones en los seres humanos, Lo (2018) [158] proporciona un nuevo marco conceptual: la Hipótesis de los Mercados Adaptativos, en la que conviven la racionalidad y la irracionalidad. Basándose en profundos conocimientos de psicología, biología evolutiva, neurociencia e inteligencia artificial, sostiene que la teoría de los mercados eficientes no es errónea sino incompleta. Cuando los mercados son inestables, los inversores reaccionan instintivamente, creando ineficiencias que otros pueden aprovechar. El nuevo paradigma del autor explica cómo la evolución de las finanzas, que ocurre a la velocidad del pensamiento, condiciona el comportamiento de los inversores y de los mercados. Un hecho que ponen de manifiesto los vaivenes entre estabilidad y crisis, ganancia y pérdida, e innovación y regulación.

1.1.2. Objetivos de la investigación

Esta tesis doctoral tiene como principal objetivo realizar una contribución académica al desarrollo de la relación entre la Hipótesis de Mercado eficiente y una técnica de arbitraje estadístico basada en el exponente de Hurst. Permitiendo derivar los siguientes objetivos:

1. Revisión de la literatura existente sobre la eficiencia del mercado.
2. Realizar un análisis de los Fundamentos del Pairs Trading, su caracterización y como modalidad de arbitraje estadístico.
3. Analizar el arbitraje estadístico basado en el exponente de Hurst. Lo que requiere:
 - a) Efectuar una revisión de literatura sobre el exponente de Hurst y su aplicación en el ámbito de las finanzas.
 - b) Detallar métodos para el cálculo del exponente de Hurst.
 - c) Analizar el desarrollo del modelo de arbitraje.

4. Realizar una contrastación empírica de las estrategias de arbitraje planteadas en diferentes mercados.

Buscamos examinar si el mercado bursátil de América Latina es eficiente. Así mismo, se ha considerado ampliar el análisis a las 50 empresas más capitalizadas de 39 países desarrollados y emergentes a nivel mundial, para ver si la estrategia de negociación por pares basada en Hurst Exponent, que es un indicador de memoria de mercado, puede obtener una ganancia significativa durante diferentes períodos.

1.1.3. Estructura de la tesis

La presente tesis está dividida en seis capítulos, cada uno de los cuales está compuesto por múltiples secciones. El primero de los capítulos es relativo a la introducción de la tesis y está compuesto por tres secciones denominadas: “Antecedentes y justificación de la investigación”, “Objetivos de la investigación” y “Estructura de la tesis”. El segundo capítulo inicia con el análisis de la eficiencia del mercado, narra sobre el estado del arte de la teoría de mercados eficiente, adaptativo y fractal, con el fin de detectar cuáles han sido las metodologías de comprobación empírica utilizadas por otros autores, así como también los hallazgos que se han obtenido en dichos mercados. El tercer capítulo trata sobre los fundamentos de Pairs Trading: Arbitraje Estadístico (caracterización y una revisión de las principales aportaciones de la literatura financiera) y el Pairs Trading como modalidad de arbitraje estadístico, siendo este capítulo uno de los principales objetivos de la investigación llevada a cabo. El cuarto capítulo analiza el Arbitraje estadístico basado en el exponente de Hurst. Se evaluaron tres secciones: a) El exponente de Hurst y su aplicación en el ámbito de las finanzas; b) Métodos para el cálculo del Exponente de Hurst; c) Desarrollo del modelo de arbitraje (selección de pares y estrategia comercial). El quinto capítulo presenta los resultados de las diferentes estrategias desarrolladas tanto en mercados latinoamericanos, como en mercados mundiales. En el último capítulo de las tesis se muestran las conclusiones extraídas de los análisis realizados y, a continuación, se recoge la bibliografía utilizada para

la elaboración de la tesis.

Capítulo 2

Revisión de Literatura

2.1. La eficiencia del mercado: una revisión de la literatura

2.1.1. La Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH)

El objetivo de esta sección, es presentar un resumen de las principales investigaciones en el campo de la EMH, las últimas tendencias y las diferentes soluciones planteadas a las críticas realizadas.

La eficiencia de mercados fue un concepto introducido por Louis Bachelier en 1900 [14] en su tesis doctoral denominada *Théorie de la Spéculation* dando inicio a la aplicación de la teoría de la probabilidad y de análisis estocásticos para los próximos 65 años. Según Davis y Etheridge (2008) [63] el movimiento Browniano de Bachelier (1900) surge como un modelo de las fluctuaciones en los precios de las acciones. Sostiene que las pequeñas fluctuaciones en el precio, vistas en un corto intervalo de tiempo deben ser independientes del valor actual del precio. Implícitamente también asume que son independientes del comportamiento pasado del proceso y combinado con el Teorema del Límite Central, deduce que los incrementos del proceso son independientes y normalmente distribuidos.

El principio de la independencia estadística en los cambios en los precios de las acciones fue abordado inicialmente en las investigaciones de Bachelier (1900) [14] y de Osborne (1959) [191], quienes señalaron que si se generan paquetes de nueva información de manera sucesiva, esta información es independiente a lo largo del tiempo y que los residuos concernientes al valor intrínseco de la acción, no dibujan ningún patrón detectable, por lo que puede asumirse la independencia estadística entre cada cambio de precio de la acción de un período a otro.

El modelo Bachelier-Osborne tiene los mismos supuestos del modelo de los caminos aleatorios:

1. Los cambios en los precios de las acciones de una transacción a otra son independien-

tes.

2. Dichos cambios en los precios siguen una misma distribución, con la diferencia que para los modelos aleatorios, la distribución que siguen es indiferente; mientras que, para el modelo Bachelier-Osborne se asume que el número de tracciones por día, semana o mes es muy grande y que se distribuyen uniformemente y que aplicando el teorema del límite central, los promedios de los precios diarios, semanales o mensuales muestrales siguen una distribución normal.

Kushwah, Negi y Sharma (2013) [141] expresaron que esto dio lugar a un análisis brillante que anticipa no solo la posterior derivación de Albert Einstein del proceso de Einstein-Wiener del movimiento Browniano, sino también muchos de los resultados analíticos que fueron redescubiertos por los académicos de las finanzas en la segunda mitad del siglo. Lamentablemente, la contribución de Bachelier fue pasada por alto hasta que Paul Samuelson la distribuyó a los economistas y posteriormente Cootner (1967) [56] publicó en su trabajo investigaciones sobre:

1. Casos de caminatas aleatorias con incrementos que son Pareto- Levy variables.
2. Procesos aleatorios no lineales.
3. Distribuciones del rango de sumas de variables aleatorias.
4. Análisis espectral.
5. Estimación estadística de procesos de Markov.

Susmel (2010) [230], señalando a Samuelson (1965) [209], indicó que en un mercado basado en la información, los precios son impredecibles. A través de ecuaciones matemáticas, propuso que los precios de los activos, P_t , son iguales al valor esperado de sus futuros pagos, D_t , descontados por la tasa δ_t condicionado al conjunto de información Ω_t . Es decir,

$$P_t = E\left[\sum_{j=1}^{\infty} \delta_{t,t+j} D_{t+j} \mid \Omega_t\right] \quad (2.1.1)$$

Dado que los precios en el momento t reflejan toda la información existente en Ω_t , es imposible predecir los precios futuros usando la información Ω_t . Samuelson asumió que la tasa de descuento es constante y así dedujo que las tasas de retorno de activos, r_t , constituyen un juego justo. Es decir, la predicción del proceso estocástico r_t es igual a cero para cualquier posible conjunto de información Ω_t .

$$E[r_{t+1} \mid \Omega_t] = 0 \quad (2.1.2)$$

Esta definición dice que los precios de los activos, P_t , son un juego justo cuando las tasas de retornos de los activos son una martingala. Es decir,

$$E[P_{t+1} \mid \Omega_t] = P_t \quad (2.1.3)$$

Campbell (1997) [44] sostiene en primer lugar que cualquier prueba de eficiencia debe asumir un modelo de equilibrio que defina retornos de seguridad normales. Si se rechaza la eficiencia, esto podría deberse a que el mercado es realmente ineficiente o porque se ha asumido un modelo de equilibrio incorrecto. Este problema de hipótesis conjunta significa que la eficiencia del mercado como tal nunca puede rechazarse.

En segundo lugar, la eficiencia perfecta es un punto de referencia poco realista que es poco probable que se mantenga en la práctica. Incluso en la teoría, como han demostrado Grossman y Stiglitz (1980) [106], existirán retornos anormales si existen costos de recopilación y procesamiento de información. Estos rendimientos son necesarios para compensar a los inversores por sus gastos de recopilación y procesamiento de información, y ya no son anormales cuando estos gastos se contabilizan adecuadamente. En un mercado grande y líquido, es probable que los costos de la información justifiquen solo pequeños rendimientos

anormales, pero es difícil decir cuán pequeños, incluso si dichos costos pudieran medirse con precisión. La noción de eficiencia relativa (la eficiencia de un mercado comparado con otro, por ejemplo, la Bolsa de Valores de Nueva York frente a los mercados de intermediarios) puede ser un concepto más útil que la visión de todo o nada adoptada por gran parte de la tradicional literatura de eficiencia del mercado .

Por otra parte, Fama (1965) [78] argumentó que la teoría de los caminos aleatorios involucran dos hipótesis separadas:

- que los cambios sucesivos en precios de las acciones son independientes entre sí; y
- que los cambios en los precios de las acciones siguen alguna distribución de probabilidad.

Sin embargo, este mismo autor, reconoció que en la práctica el modelo de los caminos aleatorios solo sería útil si es que en los mercados de capitales la información histórica de los precios de las acciones no ayuda a determinar el precio futuro de la misma. Es decir, siempre que no importen los cambios pasados de los precios de las acciones para predecir el valor futuro de una acción, sino que dependa exclusivamente de la información disponible en un momento dado.

Dentro de este mismo análisis, Fama (1965) [78] señaló que los precios de las acciones pueden ser la acumulación de ruido generado por un conjunto de variables psicológicas y de otros factores particulares para cada individuo, los que determinan el tipo de “apuesta” que realizan en el mercado de capitales; sin embargo, indicó también, que muchos teóricos de los caminos aleatorios sostienen que las acciones tienen un “valor intrínseco” y que dicho valor depende de los factores políticos y económicos que afectan a las compañías individualmente. Así se puede decir que, el valor intrínseco de una acción depende de las ganancias proyectadas de una compañía y que a su vez esta ganancia proyectada está relacionada con factores económicos y políticos que afectan al mercado.

Verificar la normalidad de la distribución de los precios de las acciones fue tema de

interés de los investigadores de la época. Moore (1962) [179] encontró que la distribución de los cambios de los precios de las acciones presenta una forma leptocúrtica e investigaciones posteriores como la de Mandelbrot (1963) [171] concluyeron que los cambios de los precios de las acciones siguen una distribución paretiana estable. Así mismo, Mandelbrot (1966) [166] desarrolló un modelo de predicción de precios de commodities de agricultura, señalando que las predicciones de los precios tienen propiedades de una martingala. Continuando con las investigaciones, Fama (1970) [83] señaló que un mercado eficiente de capitales es un mercado en el cual los precios proveen señales precisas para la asignación de recursos por parte de los inversores, esto es, mercados en donde las empresas pueden hacer inversión para mejorar su producción y en donde los inversores pueden escoger entre las distintas acciones que representan un título de propiedad de las firmas, bajo el supuesto de que los precios reflejan completamente y todo el tiempo, toda la información disponible. Basándose en el trabajo de Roberts (1959) [204] señaló la presencia de tres formas de eficiencia de mercados en la realidad:

- **La forma débil**, en la cual la información es solo la proveniente de los precios históricos de las acciones.
- **La forma semi-fuerte**, en la cual el conjunto de información que ayuda a predecir los precios futuros de las acciones son la suma de la información de los precios históricos y cualquier otra información de dominio público que pueda impactar en el desempeño de una organización o firma.
- **La forma fuerte**, que señala la existencia de inversionistas o grupos de inversionistas que poseen información privilegiada y de acceso único para ellos sobre el futuro de la compañía.

Sin embargo, este mismo autor reconoció que el hecho de que los precios reflejen completamente toda la información disponible es muy difícil de comprobar empíricamente. Así tenemos, una de las primeras teorías sobre eficiencia de mercados de capitales, que es la del

retorno esperado o también conocida como modelos de juegos justos, en la que se señala que los precios futuros de una acción están en función de su tasa de retorno o rendimiento esperado para el período futuro y la existencia de un conjunto relevante de información sobre la firma, el mercado, etc.

En términos matemáticos, los modelos de juegos justos se expresan de la siguiente manera:

$$E(p_{j,t+1} | \phi_t) = [1 + E(\tilde{r}_{j,t+1} | \phi_t)]p_{jt} \quad (2.1.4)$$

Donde P_{jt} es el precio de una acción j en el período t ; $P_{j,t+1}$ es el precio de una acción j en el período $t+1$; $r_{j,t+1}$ es la tasa de retorno de la acción j en el período $t+1$; ϕ_t es el conjunto de información disponible en el período t ; y E representa el valor esperado del precio de la acción j en el período $t+1$ dada la información disponible en período t . El error de predicción, es decir, la diferencia entre el valor observado real en el período $t+1$ y el valor predicho para dicho período puede expresarse:

$$x_{j,t+1} = p_{j,t+1} - E(p_{j,t+1} | \phi_t) \quad (2.1.5)$$

Donde $x_{j,t+1}$ representa el error de predicción del valor del activo j en el período $t+1$; $p_{j,t+1}$ representa el valor real u observado del activo j en el período $t+1$; y donde $E(p_{j,t+1} | \phi_t)$ es el valor esperado del activo j en el período $t+1$ dada un conjunto de información ϕ_t en el período t .

Dada la suposición del modelo de juego justo, se puede concluir posteriormente:

$$E(\tilde{x}_{j,t+1} | \phi_t) = 0 \quad (2.1.6)$$

Esto es, que el valor esperado del error de predicción, es cero. Sobre el modelo de juego justo se desarrollan dos casos especiales: (a) el modelo de sub-martingala y (b) la caminata

aleatoria. El modelo de sub-martingala básicamente se expresa de manera matemática como:

$$E(p_{j,t+1} | \phi_t) \geq p_{jt} \quad (2.1.7)$$

Y que de manera equivalente, se puede expresar:

$$E(\tilde{r}_{j,t+1} | \phi_t) \geq 0 \quad (2.1.8)$$

Estas ecuaciones señalan que el valor esperado del precio de una acción j para el período $t+1$, proyectado sobre un conjunto de información ϕ_t es igual o más grande que el precio actual de dicha acción (p_{jt}). Por otra parte, el modelo de la caminata aleatoria señala que si bien la sucesión de precios de una acción j , de un período t a un período $t+1$ es independiente, tal como el modelo de la sub-martingala, también asume que los cambios sucesivos (o retornos) siguen una misma distribución de probabilidad. Lo que formalmente se expresa así:

$$f(r_{j,t+1} | \phi_t) = f(r_{j,t+1}) \quad (2.1.9)$$

Revisando el principio de la probabilidad condicional en estadística, fácilmente se puede concluir que a través de la ecuación se asume independencia entre el conjunto de información en el período t , ϕ_t , y la tasa de retorno del activo r_j en el período $t+1$. Adicionalmente, se entiende que la función de densidad f debe ser la misma para cada t . Una de las principales críticas al modelo de caminata aleatoria es precisamente que se habla poco sobre el proceso estocástico f de generación de los retornos.

Algunos investigadores han probado si el análisis técnico es capaz de proporcionar rendimientos anormales a los inversores, entre los cuales podemos citar a Fama y Blume (1966) [82], quienes presentaron un análisis empírico más detallado de las reglas de filtrado,

corrigiendo los dividendos y los costos de negociación, y finalmente concluyen que tales reglas no funcionan tan bien como la estrategia de compra y retención.

Fama y French (1988) [79] recurrieron a las pruebas de la previsibilidad de retorno de horizontes largos, sosteniendo que el poder de los rendimientos de dividendos para pronosticar los rendimientos de las acciones, medidos por la regresión R^2 , aumentan con el horizonte de rendimiento. Los autores ofrecieron una explicación en dos partes.

1. La alta autocorrelación hace que la varianza de los retornos esperados crezca más rápido que el horizonte de retorno.
2. El crecimiento de la varianza de los rendimientos inesperados con el horizonte de rendimiento se atenúa por un efecto de tasa de descuento: los choques en los rendimientos esperados generan choques opuestos a los precios corrientes.

De esta forma, estimaron que, en promedio, los aumentos de precios futuros implícitos en los rendimientos esperados más altos simplemente se compensan con la disminución del precio actual. Por lo tanto, los rendimientos esperados que varían en el tiempo generan componentes *temporales* de los precios.

Olson (2004) [189] en su trabajo trató de probar si los beneficios derivados de la utilización de las medias móviles disminuyeron durante el período de 1971-2000. Si es así, las ganancias anteriores pueden representar una ineficiencia temporal que desde entonces ha sido eliminada en los mercados de divisas. La hipótesis se probó utilizando 18 series de tipos de cambio durante un período de tiempo más largo que en estudios anteriores. Las reglas se optimizan para períodos sucesivos de 5 años dentro de la muestra desde 1971 a 1995 y se probaron durante períodos posteriores de 5 años fuera de la muestra. Los resultados mostraron que los beneficios de estas estrategias ajustadas al riesgo disminuyeron con el tiempo desde un promedio del 3,5% en la década de 1970 a aproximadamente cero en la década de 1990. Por lo tanto, el autor concluye que las ineficiencias del mercado mostradas en estudios anteriores pueden haber sido solo de carácter temporal.

Rosillo, De la Fuente y Brugos (2013) [205] examinaron el resultado de la aplicación de los indicadores Índice de Fuerza Relativa (RSI), la media móvil de convergencia/divergencia (MACD), Momentum y Estocástico en diferentes empresas del mercado continuo español. Al utilizar estos indicadores, buscaron dar recomendaciones de compra y venta a pequeños inversores. Shynkevich (2012) [223] comprueba el funcionamiento de diversas reglas de trading en empresas tecnológicas de pequeña capitalización durante el período comprendido entre 1995 y 2010.

Metghalchi, Marcucci y Chang (2012) [174] realizaron una investigación similar, es decir, examinaron la rentabilidad de varias reglas técnicas de negociación sencillas, pero en 16 mercados bursátiles europeos durante 1990 al 2006. Los resultados indicaron que el aumento de las reglas de promedios móviles tiene poder predictivo al poder discernir patrones de precios recurrentes para operaciones rentables, incluso después de tener en cuenta los efectos del sesgo de rastreo de datos. Para evaluar la rentabilidad de diferentes reglas y estrategias comerciales técnicas, adoptaron la prueba Reality Check (RC) de White (2000) [247] que cuantifica el sesgo de búsqueda de datos y ajusta sus efectos. Sus resultados empíricos también respaldan la hipótesis de que las reglas técnicas de negociación pueden superar la estrategia de compra y retención después de contabilizar los costos de transacción.

Boboc y Dinică (2013) [31] examinaron la eficiencia del mercado EUR/USD mediante la aplicación de un sistema de negociación. El sistema utiliza un algoritmo genético basado en indicadores de análisis técnico como la media móvil exponencial (EMA), la media móvil de convergencia/divergencia (MACD), el índice de fuerza relativa (RSI) y el filtro que ofrece recomendaciones de compra y venta a los inversores. El algoritmo optimiza las estrategias mediante la búsqueda dinámica de parámetros que mejoren la rentabilidad en el período de formación. Luego, se aplican los mejores conjuntos de reglas durante el período de prueba. Los resultados muestran inconsistencias en la búsqueda de un conjunto de reglas comerciales que funcione bien en ambos períodos. Las estrategias que logran muy buenos retornos en el período de formación muestran dificultad para devolver resultados positivos en el período de prueba, lo que resulta consistente con la hipótesis del mercado eficiente

(EMH).

Otros investigadores decidieron analizar los ajustes de precios después de los eventos del mercado, como es el caso de Pettit (1972) [195], quien analizó los ajustes de precios después de los eventos del mercado. Los resultados de su investigación apoyan claramente la proposición de que el mercado hace uso de anuncios de cambios en los pagos de dividendos para evaluar el valor de un título. El temor de la gerencia de reducir u omitir dividendos parece estar bien fundado y lleva al deseo de retrasar el aumento de dividendos hasta que el nivel de flujos de efectivo pueda estimarse con poca incertidumbre. La importancia de estos anuncios sugiere al menos dos conclusiones con respecto a las reglas y regulaciones de divulgación corporativa. En primer lugar, si la información implícita en el anuncio pudiera transmitirse al mercado de otra manera, las alternativas de financiamiento disponibles para la empresa serían más amplias. En segundo lugar, el uso de dividendos como dispositivo de difusión de información es ineficaz, ya que es un medio imperfecto de describir las perspectivas futuras de las empresas. Permitir o fomentar la publicación de expectativas gerenciales podría reducir la incertidumbre más que la transmisión de información a través de cambios de dividendos. Como resultado, se podría esperar un precio de los activos más correcto y una mejor eficiencia de asignación. La mayor parte de la información implícita en el anuncio se refleja en los precios de los valores al final del período del anuncio (el cambio más grande, en la mayoría de las categorías, se produce en el período del anuncio). Esto apoya la propuesta de que el mercado es razonablemente eficiente tanto mensual como diariamente. El efecto de anticipación bastante grande que se evidencia en la fecha mensual podría ser el resultado del uso de información privilegiada (un mercado ineficiente) o el resultado de anuncios relacionados con el cambio de dividendos (un mercado eficiente). Sin embargo, el pequeño efecto de anticipación en los datos diarios, cuando los anuncios relacionados no fueron un factor importante, implica que el uso de información privilegiada no es un factor importante que afecte los rendimientos a corto plazo.

Así mismo, Asquith y Mullins (1983) [12] en su estudio investigaron el impacto de los dividendos en la riqueza de los accionistas mediante el análisis de 168 empresas que pagan

el primer dividendo en su historial empresarial o inician dividendos después de una pausa de 10 años. Los resultados empíricos muestran un exceso de rentabilidad positivo mayor que cualquier estudio anterior sobre dividendos. Este resultado no depende de ningún otro evento (como anuncios de ganancias) y el exceso de rendimiento está relacionado positivamente con el tamaño del pago inicial. También se investigan los aumentos posteriores de dividendos para la misma muestra de empresas. En comparación con el inicio de los dividendos, los resultados sugieren que los aumentos posteriores pueden producir un mayor impacto positivo en la riqueza de los accionistas. Los resultados también indican que otros estudios pueden haber subestimado el efecto de los aumentos de dividendos. Los resultados de los dividendos iniciales y posteriores son consistentes con la opinión de que los dividendos transmiten información única y valiosa a los inversores.

Michaely, Thaler, y Womack (1995) [175] investigaron la reacción del mercado a cambios en términos de precios, volumen y clientela. Mencionan los autores que encontraron los siguientes hallazgos:

- El impacto en el precio a corto plazo de la omisión de un dividendo es mayor que el del inicio de un dividendo. Este efecto se debe en parte al cambio mucho mayor en el rendimiento asociado con las omisiones.
- Hay importantes rendimientos en exceso en los años posteriores al anuncio de iniciación y omisión de dividendos.
- Las empresas que reemplazan un dividendo en efectivo por un dividendo en acciones experimentan una caída de precio inmediata menor, pero una deriva negativa de tres años aún más pronunciada. Las desviaciones a largo plazo después de iniciaciones y omisiones no dependen de si la empresa hizo un anuncio de ganancias coincidente, ni dependen de manera importante de la magnitud del cambio en el rendimiento.
- Una regla de negociación basada en las variaciones de un año obtiene rendimientos positivos en 22 de los 25 años.

- No hay evidencia de un cambio importante de clientela para las muestras de iniciación u omisión.

Aharony y Swary (1980) [1] en su estudio intentan resolver la cuestión empírica de si los anuncios de dividendos trimestrales transmiten información útil más allá de la proporcionada por las cifras de ganancias trimestrales. La metodología utilizada examina solo los anuncios trimestrales de dividendos y ganancias que se hacen públicos en fechas diferentes antes o después de los que acompañan a los anuncios de dividendos. Los hallazgos sobre la reacción del mercado de capitales a los reembolsos de dividendos estudiados apoyan firmemente la hipótesis de que los cambios en los dividendos en efectivo trimestrales proporcionan información útil más allá de la proporcionada por las cifras correspondientes de ganancias trimestrales. Además, los resultados también apoyan la forma semi-fuerte de la hipótesis de eficiencia del mercado.

Kalay y Loewenstein (1986) [125] documentaron que el mercado espera que las malas noticias se entreguen tarde y que estas expectativas se confirmen. El exceso de rendimiento medio de los precios de las acciones en torno a los anuncios tardíos es insignificamente diferente de cero (o significativamente negativo cuando se emplea el modelo de mercado), mientras que es positivo en los primeros anuncios y en los anuncios que se hicieron a tiempo. Además, la proporción de reducciones de dividendos asociadas con los reembolsos tardíos es significativamente mayor que la proporción de reducciones de los anuncios que se hicieron a tiempo. Una pregunta que se plantearon es: ¿Qué podrían esperar los gerentes racionales de ganar con un aplazamiento de unos pocos días? Una posible explicación que encontraron los autores es que los gerentes usan el tiempo adicional para tratar de minimizar el alcance de la reducción de dividendos. La evidencia documentada en su estudio sugiere lo contrario. El mercado interpreta correctamente el aplazamiento de anuncios para transmitir información negativa.

La evidencia empírica presentada en su trabajo sugiere que un anuncio negativo transmitido tarde tendrá un efecto de precio menor en el día del anuncio que el mismo transmiti-

do temprano. Esto se debe a que el mercado ajusta gradualmente los precios a la baja entre la fecha prevista y la fecha real del anuncio tardío. Por lo tanto, el gerente puede reducir el impacto inmediato de un anuncio negativo aplazándolo. Pero, de nuevo, cuestionándose el beneficio de hacerlo.

Otra parte de la literatura financiera ha probado la EMH con base en la implicación estadística de esta hipótesis: que los rendimientos de las acciones siguen un recorrido aleatorio. Existen contribuciones interesantes como la de Lo y MacKinlay (1988) [154], quienes probaron la hipótesis de la caminata aleatoria para los rendimientos bursátiles semanales comparando estimadores de varianza derivados de datos muestreados en diferentes frecuencias. El modelo de paseo aleatorio es fuertemente rechazado para todo el período de la muestra (1962-1985) y para todos los subperíodos para una variedad de índices de rendimiento agregado y carteras clasificadas por tamaño. Aunque los rechazos se deben en gran medida al comportamiento de las acciones pequeñas, no pueden atribuirse por completo a los efectos de la negociación infrecuente o de las volatilidades variables en el tiempo. Además, el rechazo de la caminata aleatoria para los rendimientos semanales no respalda un modelo de reversión a la media de los precios de los activos. Esta línea se ha seguido en varios trabajos donde los autores intentan analizar el grado de eficiencia de diferentes mercados desarrollados.

Retomando la investigación que inició en 1965, Fama (1991) [80] volvió a enfocarse en la eficiencia de mercados, en las críticas y estudios que se realizaron a lo largo de 30 años sobre esta temática. En su artículo, analizó los trabajos que señalaban un efecto correlacional de los precios pasados de las acciones con las predicciones de un horizonte a corto y a largo plazo. Básicamente, señaló que si bien se pudo encontrar una correlación positiva entre los precios pasados y los precios futuros con un horizonte a corto plazo (días, semanas o meses), esta correlación no es significativa en términos económicos, pese a que estadísticamente sí lo sea, es decir, que los coeficientes de correlación son muy cercanos, pero no iguales a cero. En un horizonte a largo plazo, es decir, de uno, dos, tres, cinco o seis años, se encontró un coeficiente de correlación negativo, estadísticamente significativo, pero que según el

autor, se podía explicar por el pequeño tamaño muestral y por la estacionariedad de la serie, concluyendo que no existe suficiente evidencia estadística para decir que los precios pasados influyen en los precios futuros a un horizonte de largo plazo. Posteriormente, Fama (1998) [81] señaló que pese a que muchos autores desechaban la hipótesis de eficiencia de mercado, porque encontraban evidencia, al menos a largo plazo, de una correlación significativa entre los precios históricos y los precios futuros; estos resultados se debían en gran parte a las diferentes metodologías que utilizaban los investigadores y que cambiando ciertos criterios no se contradice la hipótesis de la eficiencia de mercados.

Araujo y Tabak (2004) [11] probaron la hipótesis de la caminata aleatoria para China, Hong Kong y Singapur, encontrando que las acciones de Clase A para las bolsas de valores chinas y los mercados de valores de Hong Kong son debilmente eficientes. Sin embargo, las acciones de Singapur y Clase B para las bolsas de valores chinas no siguen la hipótesis del paseo aleatorio, lo que sugiere que la liquidez y la capitalización de mercado pueden desempeñar un papel en la explicación de los resultados de las pruebas de eficiencia de forma débil.

De igual manera, Fifield y Jetty (2008) [93] examinaron la eficiencia de los mercados de acciones A y B de China tras la desregulación del mercado de acciones B, que amplió la propiedad para incluir a los inversores nacionales. Aplicando pruebas de razón de varianza paramétricas y no paramétricas a los datos diarios de 370 acciones durante 1996–2005, el trabajo encuentra que las acciones A son más eficientes que las acciones B, aunque la eficiencia de ambos mercados ha mejorado después del cambio regulatorio. En general, los resultados sugieren que los mercados de valores chinos se caracterizan por la asimetría de la información, aunque el acceso oportuno a información de alta calidad que disfrutaban los inversores nacionales ha mejorado la eficiencia del mercado de acciones B.

Charles y Darné (2009) [49] examinaron también la hipótesis del paseo aleatorio para los mercados de valores de Shanghai y Shenzhen para las acciones A y B, utilizando datos diarios durante el período 1992-2007. La hipótesis se estudia con pruebas de relación de varianza múltiple (submuestreo de Whang-Kim y pruebas de wild bootstrap de Kim), así

como con la prueba convencional múltiple de Chow-Denning. Encontraron que las acciones de Clase B para las bolsas de valores chinas no siguen la hipótesis del paseo aleatorio y, por lo tanto, son significativamente ineficientes. Las acciones de Clase A parecen más eficientes. Mientras que, Squalli (2006) [226] probó la eficiencia del mercado en los sectores representados del Mercado Financiero de Dubai (DFM) y el Mercado de Valores de Abu Dhabi (ADSM). Utilizando índices sectoriales diarios entre 2000 y 2005, las pruebas de razón de varianza rechazan la hipótesis del paseo aleatorio en todos los sectores de los mercados financieros de los EAU, excepto en el sector bancario de la DFM. Los rendimientos en los dos mercados financieros tienen una correlación serial negativa, lo que sugiere la presencia de un mercado alcista. Las pruebas de ejecución encuentran que los seguros en el ADSM son el único sector eficiente de forma débil.

Al-Ajmi y Kim (2012) [5] propusieron en su artículo probar la Hipótesis de caminata aleatoria (RWH) para siete mercados de valores en países del Consejo de Cooperación del Golfo (CCG). Se aplicaron tres nuevas pruebas de relación de varianza múltiple tanto a los rendimientos observados como a los rendimientos corregidos para "thin-trading". En general, se encontró que el RWH no se mantiene para los mercados de valores del CCG en las frecuencias diarias y semanales. Esta evidencia es particularmente fuerte cuando se utilizan rendimientos diarios, donde el RWH se rechaza firmemente tanto para los rendimientos observados como para los corregidos.

Mlambo y Biekpe (2007) [178] investigaron la hipótesis de eficiencia débil en diez mercados de valores africanos utilizando la test de dependencia serial. En todos los mercados se observaron graves "thin-trading", y más aún en Namibia y Botswana, los dos mercados con importantes acciones de doble cotización en la JSE. En todos los mercados estudiados (excepto Namibia), un número significativo de acciones rechazó la caminata aleatoria. La eficiencia de forma débil del NSX se atribuyó a su correlación con el JSE. Todas las acciones de la muestra de Mauricio rechazaron la caminata aleatoria al nivel de significancia del 1% utilizando el mismo test. Esto llevó a la conclusión de que los precios de las acciones en el mercado de Mauricio tienden a desviarse de la hipótesis del paseo aleatorio. Se llegó a

la misma conclusión para Ghana. En las bolsas de valores de BRVM, Egipto y Botswana, tampoco se pueden descartar las posibilidades de que se puedan detectar patrones en los precios de las acciones que se puedan utilizar para predecir el próximo precio. Dado que el rechazo de la caminata aleatoria no implica necesariamente una ineficiencia de forma débil, sino la presencia de una correlación en serie en los rendimientos de las acciones, es vital investigar si dicha correlación en serie se puede aprovechar para obtener rendimientos anormales, netos de los costos de transacción.

En una línea de trabajo muy novedosa, diversos físicos han propuesto el uso del Exponente de Hurst como una medida de la ineficiencia del mercado de valores. Así, Beben y Orłowski, (2001) [25] analizaron si hay algunas correlaciones a largo plazo en los índices de mercado emergentes y desarrollados (DJIA, DAX, WIG, BUX, PS) mediante el Exponente de Hurst, así como el análisis de fluctuaciones sin tendencia. En contraste con DJIA y DAX, que no muestran un comportamiento persistente demasiado fuerte, los exponentes de Hurst para los índices de mercados emergentes son superiores a 0,5, lo que implica que no estamos ante un movimiento Browniano.

Di Matteo, Aste y Dacorogna (2005) [67] confirmaron que los comportamientos a escala son bastante universales en los mercados financieros. Los autores demuestran que el exponente de Hurst generalizado $H(q)$ es una herramienta poderosa para caracterizar y diferenciar la estructura de tales propiedades de escala. Su estudio también confirma que $qH(q)$ exhibe una dependencia no lineal de q , lo cual es una característica propia de las desviaciones del movimiento Browniano puro y otros modelos aditivos o uni-escalables. En el trabajo se realizó el análisis empírico de la sensibilidad del Exponente de Hurst para una amplia variedad de índices bursátiles, asociando el valor del mismo al grado de desarrollo del mercado. En un extremo del espectro se sitúan el Nasdaq100 (EE.UU.), el S&P 500 (EE.UU.), el Nikkei 225 (Japón), el Dow Jones Industrial Average (EE.UU.), el CAC 40 (Francia) y el índice All Ordinaries (Australia); todos con $H < 0,5$. Mientras que, en el otro extremo, encontraron el ruso AK&M, el indonesio JSXC, el peruano LSEG, etc.; todos con $H > 0,5$. Además, lograron observar estructuras emergentes en los comportamientos

de escala de tasas de interés y tipos de cambio que están relacionados con condiciones específicas de los mercados.

Los autores sostienen que la solidez del enfoque empírico se prueba de varias maneras:

- Comparando exponentes teóricos con los resultados de las simulaciones de Monte Carlo utilizando tres generadores aleatorios distintos.
- Al variar el paso de tiempo máximo τ_{max} en el análisis.
- Al aplicar el método Jackknife para producir varias muestras.
- Al variar los tamaños de ventana de tiempo para analizar la estabilidad temporal.
- Al calcular los resultados para series de tiempo sin tendencia.

Zunino, Tabak, Pérez, Garavaglia y Rosso (2007) [256] exploraron las desviaciones de la eficiencia en los retornos y los retornos de volatilidad de los índices del mercado latinoamericano. Consideraron dos enfoques diferentes: La dinámica del exponente de Hurst se obtiene mediante Wavelet, cuantificando el grado de memoria larga exhibida por los índices bursátiles bajo análisis. Por otro lado, se mide el índice entrópico de Tsallis para tener en cuenta las desviaciones de la hipótesis gaussiana. Se obtienen diferentes rankings dinámicos de ineficiencia, cada uno de ellos contempla una fuente diferente de ineficiencia. Comparando con los resultados obtenidos para un país desarrollado (EE.UU.), se confirma un grado similar de dependencia de largo plazo para los mercados emergentes. Además, mostraron que la ineficiencia en los países latinoamericanos proviene principalmente de la forma no gaussiana de las distribuciones de probabilidad.

Cajueiro y Tabak (2005) [41] emplearon un enfoque de “muestra móvil” para estimar los exponentes de Hurst para los retornos al cuadrado y absoluto de los mercados emergentes. Los hallazgos sugieren que estos mercados poseen una fuerte dependencia de la volatilidad a largo plazo. Los resultados empíricos sugieren que los mercados de acciones asiáticos son más eficientes que los de América Latina y que Estados Unidos es el país más eficiente.

Lim (2007) [150] señaló que entre la amplia gama de técnicas estadísticas utilizadas para evaluar la eficiencia de los mercados están el análisis de series de tiempo, test de raíces unitarias, análisis espectrales, pruebas de ratios de varianzas, entre otros; y que, sin embargo se han encontrado resultados contradictorios analizando en un mismo mercado de acciones. Este autor hace énfasis en que uno de los mayores defectos del enfoque tradicional es que no se puede decir con absoluta exactitud que un mercado es eficiente o no. De aquí la importancia de hablar de una eficiencia relativa, que ubique en un orden comparativo entre los distintos mercados que se analizan, cuáles son más eficientes y cuáles son menos eficientes. Esta investigación propuso ordenar los distintos mercados de acciones calificándolos a través del Exponente de Hurst. Este índice supera las restricciones de no linealidad que se observa en muchos mercados de capitales. Cajueiro y Tabak (2004) [40] utilizaron un enfoque similar, aplicando muestras recursivas para calcular el exponente de Hurst y evaluar la eficiencia relativa entre los mercados asiático y latinoamericano.

Zunino, Zanin, Tabak, Pérez, and Rosso (2010) [255] utilizaron los conceptos físicos de complejidad y entropía para evaluar el grado de orden o de desorden de los datos de una serie de tiempo. Básicamente, argumentaron que a medida que los datos presentaban mayor desorden, mayor era su entropía lo que dificultaba su predicción. Una entropía negativa permitía un mayor grado de predictibilidad de la variable. Esta investigación se basó en los trabajos de Bentes, Menezes, and Mendes (2008) [28], quienes introdujeron el enfoque de entropía de Shannon (1948) [217], de Rényi (1961) [202] y de Tsallis, Anteneodo, Borland, and Osorio (2003) [238].

Ferreira, Dionísi y Correia (2018) [91] analizaron la eficiencia de los mercados de valores africanos, utilizando el exponente de Hurst. Se analizaron los valores diarios de los índices bursátiles de los siguientes países: Botswana, IvoryCoast, Egipto, Kenia, Mauricio, Marruecos, Namibia, Nigeria, Sudáfrica, Túnez, Uganda y Zambia. Para comparar los resultados también incluyeron en el análisis Reino Unido, Estados Unidos y Japón. Para tener una noción más clara de dependencia serial, se consideró en general todo el período analizado (3 de agosto de 2004 al 13 de abril de 2016), dividido en tres subperíodos: precrisis, crisis

y período de calma. En general, los resultados apuntan a la existencia de una dependencia serial estadísticamente significativa (persistente y anti-persistente). Estos resultados se confirman en la mayoría de los países analizados, tanto en todo el período como en los subperíodos. Al comparar con los índices no africanos, en estos países existe evidencia de independencia serial en el período anterior al incidente de Lehman Brothers, y cuando se detecta algún tipo de dependencia, es menos significativa que en la mayoría de los índices africanos. La posible señal de dependencia a largo plazo en los mercados analizados puede estar vinculada a la falta de liquidez y al pequeño tamaño de estos mercados, por lo que son mercados donde se puede potenciar la especulación y manipulación de activos.

Dimitrova, Fernández-Martínez, Sánchez-Granero y Trinidad Segovia (2019) [69] exploraron la eficiencia del mercado de las principales criptomonedas en el período que va desde mediados de 2010 hasta principios de 2019. Para abordarlo, analizaron dinámicamente la evolución del exponente de auto-similitud de los rendimientos diarios de Bitcoin-USD mediante un enfoque FD4 mediante una ventana deslizante de 512 días con datos superpuestos. Además, definieron el indicador de memoria por la diferencia entre el exponente de auto-similitud de la serie Bitcoin-USD y el índice de auto-similitud de su serie barajada. Así mismo, exploraron la evolución del exponente de auto-similitud de la serie actual S&P 500 a través del algoritmo FD4 mediante ventanas deslizantes de tamaños iguales a 256 y 512 días. En todos los casos, los resultados obtenidos fueron similares al primer análisis, concluyendo que el exponente de auto-similitud de la serie BTC-USD (resp., S&P 500) se sitúa por encima de 0,5. No obstante, los autores concluyen que esto no se debe a la presencia de una memoria significativa en la serie, sino que la memoria es consecuencia de la distribución subyacente. De hecho, sostiene que el exponente de auto-similitud de la serie BTC-USD (resp., S&P 500) es similar o menor que el índice de auto-similitud de una serie aleatoria con la misma distribución. Como tal, se distinguen varios períodos con memoria antipersistente significativa en las series BTC-USD (resp., S&P 500), que pueden ser indicativos de eficiencia en la línea de los trabajos anteriormente citados.

Contra lo que señala la hipótesis de los mercados eficientes, según la cual los precios

de las acciones transmiten toda la información relevante desde el agente informado al no informado, Grossman y Stiglitz (1976) [105] mostraron que, cuando hay elevados costes a la hora de recabar la información, los precios de las acciones agregan, inevitablemente, la información de forma imperfecta (para inducir a la gente a que recabe información, tiene que haber una “cantidad equilibrada de desequilibrio”). Cada una de estas piedras angulares del paradigma competitivo fueron rechazadas. Posteriormente, Grossman y Stiglitz (1980) [106] critican la hipótesis de eficiencia principalmente en su forma fuerte, argumentando que los precios reflejan parcialmente la información disponible, señalan que tan pronto como se modifican los supuestos del modelo convencional de mercados perfectos para permitir incluso un pequeño costo de la información, la teoría tradicional se vuelve insostenible. Enfatiza que debido a que la información es costosa, los precios no pueden reflejar perfectamente la información disponible, ya que si lo hiciera, aquellos que gastaron recursos para obtenerla no recibirían compensación alguna.

En otra línea de trabajo, Jegadeesh (1990) [120] presenta evidencia empírica de la predictibilidad de los rendimientos de las acciones individuales, mostrando que la correlación serial negativa de primer orden en los rendimientos de las acciones mensuales es muy significativa. Además, se encuentra una correlación serial positiva significativa en intervalos más largos, y la correlación serial de doce meses es particularmente fuerte. Utilizando el comportamiento sistemático observado de la rentabilidad de las acciones, se realizan previsiones de rentabilidad un paso por delante y se forman diez carteras protegidas a partir de las previsiones. La diferencia entre los rendimientos anormales de las carteras de decil extremo durante el período 1934-1987 es del 2,49 % mensual.

Jegadeesh y Titman (1993) [121] documentaron que las estrategias que compran acciones que han tenido un buen desempeño en el pasado y venden acciones que han tenido un mal desempeño en el pasado generan rendimientos positivos significativos durante períodos de tenencia de 3 a 12 meses. Encontraron que la rentabilidad de estas estrategias no se debe a su riesgo sistemático ni a reacciones demoradas en el precio de las acciones a factores comunes. Sin embargo, parte de la rentabilidad anormal generada en el primer año posterior

a la formación de la cartera se disipa en los dos años siguientes. También se documenta un patrón similar de rendimientos en torno a los anuncios de ganancias de ganadores y perdedores anteriores. Los autores concluyen en su trabajo que la evidencia de retornos de fuerza relativa inicial positiva y negativa posterior sugiere que las interpretaciones comunes de reversiones de retorno como evidencia de reacción exagerada y persistencia de retorno (es decir, ganadores pasados que lograron retornos positivos en el futuro) como evidencia de reacción insuficiente son probablemente demasiado simplistas.

Se necesita un modelo más sofisticado de comportamiento del inversor para explicar el patrón de rendimiento observado. Una interpretación de los resultados es que las transacciones de los inversores que compran a los ganadores anteriores y venden a los perdedores pasados alejan temporalmente los precios de sus valores a largo plazo y, por lo tanto, hacen que los precios reaccionen de forma exagerada. Esta interpretación es consistente con el análisis de DeLong, Shleifer, Summers y Waldman (1990) [65] quienes exploran las implicaciones de lo que ellos llaman *operadores de retroalimentación positiva* en el precio de mercado. Alternativamente, es posible que el mercado reaccione de forma insuficiente a la información sobre las perspectivas a corto plazo de las empresas, pero reaccione exageradamente a la información sobre sus perspectivas a largo plazo. Esto es plausible dado que la naturaleza de la información disponible sobre las perspectivas a corto plazo de una empresa, como los pronósticos de ganancias, es diferente de la naturaleza de la información más ambigua que utilizan los inversores para evaluar las perspectivas a largo plazo de una empresa. La evidencia de este artículo no permite distinguir entre estas dos hipótesis sobre el comportamiento de los inversores. Además, probablemente haya otras explicaciones para estos resultados. Dado que sus resultados sugieren que las expectativas de los inversores están sistemáticamente sesgadas.

Una última línea de trabajo es la que se basa en la posibilidad de arbitraje. Seo y Chai (2013) [220] examinaron el efecto de las tecnologías de la información utilizadas para los mercados financieros sobre la eficiencia del mercado de capitales. Su investigación se centró específicamente en el comercio algorítmico. El comercio algorítmico permite a los inversores

negociar acciones a través de un programa informático sin necesidad de intervenciones humanas. Los resultados de su investigación indicaron que las bolsas de valores basadas en comunicaciones electrónicas sin intervención humana podían aumentar la calidad del mercado financiero mediante el aumento de la participación comercial y la eficiencia del mercado.

Por otro lado, Ferreira y Dionisio (2016) [92] argumentaron dentro de la Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH), que las tasas de retorno no tienen memoria (correlación) lo que implica que los agentes no pueden obtener ganancias anormales en los mercados financieros, debido a la posibilidad de arbitraje. Con las tasas de retorno para el mercado bursátil estadounidense, corroboraron el hecho de que, con un enfoque lineal, las tasas de retorno no muestran evidencia de correlación. Sin embargo, los enfoques lineales pueden no ser completos o globales, ya que las tasas de retorno podrían sufrir de no linealidades. Continuando con sus investigaciones Ferreira y Dionisio (2017) [90] examinaron el comovimiento o “movimiento correlacionado” del mercado de valores utilizando cointegración, pruebas de causalidad de Granger y enfoques no lineales en el contexto de la información mutua y correlaciones. Aplicaron Análisis adaptado Multifractal de Fluctuaciones sin tendencia (AMF-DFA) y Análisis adaptado Multifractal de correlaciones cruzadas sin tendencia (AMF-DXA), encontrando solo 170 pares de mercados de acciones cointegrados y de acuerdo con la causalidad de Granger y la información mutua, lograron notar que las relaciones más fuertes se encuentran entre los mercados emergentes, y entre los emergentes y mercados fronterizos.

Aitken y otros (2018) [3] utilizaron una serie de proxies empíricos y examinaron el explosivo crecimiento de 2003-2011 en trading algorítmico (AT) en la Bolsa de Londres y NYSE Euronext Paris. Dando como resultado que el incremento de AT se asocia con una mayor eficiencia transaccional y una fuga de información reducida en los principales mercados.

En esta última línea de trabajo se encuentran las dos contribuciones de esta tesis doctoral, Sánchez y otros [214] y Balladares y otros [17], donde se analiza el grado de eficiencia

de los mercados emergentes y desarrollados en base a la aplicación de técnicas de arbitraje estadístico. En estos trabajos se demuestra que las técnicas de arbitraje sólo son posibles en mercados emergentes, caracterizados por su bajo nivel de eficiencia, mientras que en mercados desarrollados sólo funcionan en épocas de elevada volatilidad o inestabilidad. Estos resultados son congruentes con los obtenidos por DiMatteo y otros [67], Zunino y otros [256] y Kristoufek y otros [138].

2.1.2. La Hipótesis del Mercado Adaptativo (AMH)

Una de las críticas más reconocidas sobre la EMH es la de Malkiel (2003) [165] en la que se reconoce que los inversores no siempre tienen un comportamiento racional y que resultado de esto, en muchas ocasiones se pueden encontrar patrones de comportamiento en horizontes temporales cortos. Así mismo, reconoce que no puede existir un mercado perfectamente eficiente, en gran parte debido a que siempre existirán participantes que ocultarán información que no se reflejará fácilmente en el precio de mercado o que incluso pueden falsearla para poder obtener ventaja.

Sobre esta base, Lo (2005) [159] propone unir los conceptos de la EHM con los principios de la conducta de los inversores. En esta investigación se argumenta que el grado de eficiencia de los mercados está relacionado a factores ambientales o de ecología de mercado como son el número de competidores en el segmento, la magnitud de los beneficios esperados y la adaptabilidad de los participantes del mercado. Este autor también hace referencia a las neurofinanzas, en la cual a través de tomografías computarizadas y de resonancias magnéticas evalúan que zonas del cerebro se activan al momento de tomar una decisión financiera, concluyendo que la toma de decisiones tiene un componente emocional muy fuerte, restringiendo así el principio de racionalidad establecido previamente en la EMH.

Lo (2011) [157] plantea la necesidad de incorporar al análisis de los mercados financieros una estructura más completa, describe cómo la hipótesis de mercados adaptativos (AMH), una alternativa a la EMH que reconcilia la aparente contradicción entre sesgos de comportamiento y se enfoca en la respuesta del comportamiento humano a las condiciones cambiantes de los mercados financieros. Lo (2005) [159] sostiene que basado en principios evolutivos, la hipótesis de los mercados adaptativos implica que el grado de eficiencia del mercado está relacionado con factores ambientales que caracterizan la ecología del mercado, como el número de competidores, la magnitud de las oportunidades de ganancias disponibles y la adaptabilidad de los participantes del mercado. El autor considera que la EMH no está equivocada, es simplemente incompleta. Los mercados se comportan bien la

mayoría del tiempo, pero como cualquier otra invención humana, no son infalibles y pueden descomponerse de vez en cuando por razones comprensibles y predecibles. La AMH comienza con el reconocimiento de que el comportamiento humano es una combinación compleja de múltiples sistemas de toma de decisiones, de los cuales el razonamiento es solo uno entre varios. El enfoque de AMH no está en ningún comportamiento, sino, más bien, sobre cómo responde el comportamiento a condiciones cambiantes del mercado. En el marco de la AMH, los individuos no son perfectamente racionales ni completamente irracionales, pero son inteligentes, inversionistas prospectivos y competitivos que se adaptan a nuevas realidades económicas. La idea básica de la AMH según Lo (2005) [159] deriva una serie de implicaciones.

La primera implicación es que, en la medida en que exista una relación entre riesgo y recompensa, es poco probable que sea estable en el tiempo. Tal relación está determinada por los tamaños relativos, así como por aspectos institucionales como el entorno regulatorio y las leyes tributarias. A medida que estos factores cambian con el tiempo, es probable que cualquier relación riesgo/recompensa se vea afectada. Un corolario de esta implicación es que la prima de riesgo de las acciones también varía con el tiempo y depende de la trayectoria. Esta no es una idea tan revolucionaria como podría parecer a primera vista, incluso en el contexto de un modelo de equilibrio de expectativas racionales, si las preferencias de riesgo cambian con el tiempo, la prima de riesgo de acciones también debe variar. La percepción incremental de la AMH es que las preferencias de riesgo agregado no son constantes universales, sino que están determinadas por las fuerzas de la selección natural.

Una segunda implicación es que, contrariamente a la clásica EMH, las oportunidades de arbitraje surgen de vez en cuando en la AMH. Como observan Grossman y Stiglitz [1980] [106], sin estas oportunidades, no habrá ningún incentivo para recopilar información y el aspecto de exploración de precios de los mercados financieros colapsará. Desde una perspectiva evolutiva, la sola existencia de mercados financieros líquidos activos implica que deben existir oportunidades de lucro que a medida que son explotadas desaparecen. Pero también se crean constantemente nuevas oportunidades a medida que ciertas especies

desaparecen, otras nacen y cambian las instituciones y las condiciones comerciales. En lugar de la inexorable tendencia hacia una mayor eficiencia predicha por la EMH, la AMH implica una dinámica de mercado considerablemente más compleja, con ciclos y tendencias, pánicos, manías, burbujas, caídas y otros fenómenos que se observan habitualmente en ecologías de mercado natural.

Una tercera implicación es que las estrategias de inversión también cambiarán y disminuirán, con un buen rendimiento en ciertos entornos y un rendimiento deficiente en otros entornos. A diferencia de la EMH clásica en la que las oportunidades de arbitraje se compiten en forma continua, eliminando eventualmente la rentabilidad de la estrategia diseñada para explotar el arbitraje, la AMH implica que dichas estrategias pueden declinar por un tiempo y luego volver a la rentabilidad cuando las condiciones ambientales se vuelven más tendentes a tales intercambios.

Una cuarta implicación es que la innovación es la clave para la supervivencia. La EMH clásica sugiere que ciertos niveles de rentabilidad esperada se pueden lograr simplemente asumiendo un grado suficiente de riesgo. El AMH implica que debido a que la relación riesgo/recompensa varía con el tiempo, una mejor manera de lograr un nivel consistente de retornos esperados es adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado. Al desarrollar una multiplicidad de capacidades que se adaptan a una variedad de condiciones ambientales, es menos probable que los administradores de inversiones se extingan como resultado de cambios rápidos en las condiciones comerciales.

Lo (2005) [159] opina que el enfoque tradicional para modelar el comportamiento en economía y finanzas es afirmar que los inversores optimizan las funciones de utilidad, por ejemplo, constante aversión al riesgo relativo. Este es el punto de partida para muchos modelos cuantitativos de las finanzas modernas, incluyendo la teoría de media-varianza y el Modelo de fijación de precios de Sharpe-Lintner (CAPM). Sin embargo, varios estudios han demostrado que la toma de decisiones humanas no parece ajustarse a la racionalidad y la eficiencia del mercado pero exhibe ciertos sesgos de comportamiento que son claramente contraproducente desde la perspectiva financiera; por ejemplo, exceso de confianza

(Fischhoff y Slovic, 1980 [94]; Barber y Odean, 2001 [19]; Gervais y Odean, 2001 [99]), reacción exagerada (DeBondt y Thaler, 1986 [64]), aversión a la pérdida (Kahneman y Tversky, 1979 [239]; Shefrin y Statman, 1985 [219]; Stewart y otros, 2000 [228]; Odean, 1998) [188]), contabilidad psicológica (Tversky y Kahneman, 1981 [124]), mala calibración de probabilidades (Lichtenstein, Fischhoff y Phillips, 1982 [147]), descuento hiperbólico (Laibson, 1997 [142]), y arrepentimiento (Bell, 1982 [26]; Clarke, Krase y Statman, 1994 [54]). Por estas razones, los economistas conductuales concluyen que los inversores son a menudo, si no siempre, irracionales, exhibiendo un comportamiento predecible y financieramente ruinoso siendo poco probable que se produzcan mercados eficientes.

Autores como Grossman (1976) [104] y Stiglitz (1980) [106] indicaron que informativamente los mercados eficientes perfectos son imposibles, porque si los mercados son perfectamente eficientes, no hay ganancias para reunir información, en cuyo caso habría poca razón para comercializar y los mercados eventualmente colapsarían. Alternativamente, el grado de ineficiencia del mercado determina el esfuerzo que los inversores están dispuestos a gastar para reunir e intercambiar información. Los beneficios obtenidos por estos atentos inversores pueden ser vistos como “rentas económicas” que les corresponde por estar dispuestos a participar en tales actividades. Ahora bien, ¿Quiénes son los proveedores de estas rentas?, Black (1986) [30] nos dio una respuesta tentadora: “inversionistas de ruido” o individuos que comercializan con lo que consideran información pero que es, de hecho, simplemente ruido.

Lo (2005) [159] ha inspirado varios trabajos: racionalidad limitada en economía (Simon, 1982 [224]), sistemas complejos (Farmer, 2002 [84]); biología evolutiva (Wilson, 1975 [249] y Trivers, 1985 [236]); psicología evolutiva (Pinker, 1997 [196] y Barrett, Dunbar y Lycett, 2002 [23]); y ecología conductual (Mangel y Clark, 1988 [172]). Lo (2005) [159] menciona que Damasio (1994) [61] ofrece una fascinante investigación clínica que condujo a su idea seminal sobre el papel de la emoción en la racionalidad, proporcionando fragmentos asimilables de neuroanatomía y neurofisiología sobre la marcha.

En un trabajo más reciente, Gil Mateus (2017) [173] introduce el concepto de adap-

tación para comprender la eficiencia en los mercados financieros. Considera que algunos antecedentes teóricos muestran la necesidad y pertinencia del análisis adaptativo como respuesta al paradigma tradicional enfocado en los planteamientos de la hipótesis de los mercados eficientes. En particular expone dos críticas a la EMH: una desde la racionalidad del agente, que muestra la imposibilidad de la existencia de mercados eficientes a escala informacional, y otra desde la economía conductual, enfocada en la heterogeneidad de los agentes y la racionalidad limitada de aquellos. Argumenta que el planteamiento principal de la AMH muestra a la eficiencia de los mercados financieros no como una característica presente o ausente, sino como una cualidad que varía acorde con las condiciones del mercado, las cuales son determinadas por las intenciones entre sus agentes. El autor menciona que, el principal postulado de la AMH radica en que la eficiencia del mercado depende de sus condiciones; es decir, es resultado de las interacciones de sus agentes. Señala también que, la AMH permite explicar fenómenos como el comportamiento de rebaño o manada, que genera grandes caídas, aparentemente espontáneas de los precios de los activos. De igual manera, agrega que el agente contemplado en la AMH es un agente con racionalidad limitada, es decir, susceptible de cometer errores sistemáticos generados por procesos heurísticos o sesgos cognitivos.

Gil Mateus (2017) [173] concluye que, al incorporar al análisis elementos de ecología de mercados, es importante entender que, a diferencia de la EMH, la AMH contempla diferentes tipos de agentes que estarían en capacidad de: primero, crear expectativas diversas con la misma información, por la presencia de racionalidad limitada; segundo, tener diferentes grados de aversión al riesgo, teniendo en cuenta que dicha aversión puede cambiar según las condiciones del mercado; tercero, cometer errores sistemáticamente, pero con el fin de sobrevivir en el mercado; y cuarto, usar la innovación como herramienta principal para lograr su fin último de permanencia en el mercado, teniendo en cuenta la naturaleza cambiante de sus condiciones.

Desde el punto de vista empírico destacan varios trabajos. El pionero de ellos es el de Manahov y Hudson (2014) [162] donde los autores desarrollaron mercados de accio-

nes artificiales o ficticios, utilizando plataformas en donde los usuarios pueden simular la compra y venta de acciones. Con toda la información recaudada, utilizaron una serie de técnicas econométricas para analizar las propiedades emergentes de los mercados de capitales. Analizaron la evolución histórica de tres índices: FTSE 100, S&P 500 y Russell 3000. Encontraron que la heterogeneidad es una característica básica de un mercado eficiente y que la eficiencia de mercados no se basa necesariamente en el supuesto de racionalidad. Señalaron también que los mercados de acciones no muestran un comportamiento lineal, sino que muestran un proceso evolutivo más relacionado con la Hipótesis de Mercado Adaptado, debido a que las diferentes poblaciones de inversores existentes presentan diferentes sistemas de adaptación al mercado a lo largo del tiempo. Así mismo, para garantizar la eficiencia, estos autores aconsejan la participación del gobierno con ciertas regulaciones en el mercado de capitales.

Posteriormente, Noda (2016) [185] examinó la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) en los mercados de valores japoneses (TOPIX y TSE2). En particular, midió el grado de eficiencia del mercado utilizando un enfoque de modelo que varía con el tiempo. Los resultados empíricos muestran que (1) el grado de eficiencia del mercado cambia con el tiempo en los dos mercados, (2) el nivel de eficiencia del mercado del TSE2 es más bajo que el del TOPIX en la mayoría de los períodos, y (3) la eficiencia del mercado del TOPIX ha evolucionado, pero el del TSE2 no. Llegando a la conclusión de que los resultados respaldan el AMH para el mercado de valores más calificado en Japón.

Charles, Darné y Kim (2017) [50] confirmaron las implicaciones de la AMH al probar la hipótesis de Martingala con la relación de varianza y la prueba Portmanteau e informaron que los retornos son predecibles durante un cierto período. Del mismo modo, Lim, Luo y Kim (2013) [149] afirmaron que la naturaleza variable de los patrones predecibles a lo largo del tiempo confirman la AMH, mediante el uso del bootstrap para el cálculo de la razón de la varianza y la prueba Portmanteau Box-Pierce. Además, Urquhart y McGroarty (2016) [241], también aplicaron la prueba de relación de varianza en la ventana móvil (longitud fija) y descubrieron que en el mercado de valores, las predicciones de rendimiento

varían durante un período de tiempo apoyando a la AMH. Usando GARCH-M, Charfeddine y Khediri (2016) [47] examinaron la forma débil de la eficiencia del mercado mediante la prueba del factor de larga memoria con muestras rodantes. Apoyaron a la AMH informando que los mercados de CCG tienen varios grados de cambio de eficiencia de mercado.

Al-Khazali y Mirzaei (2017) [6] utilizando análisis de dominancia estocástica (SD) y media-varianza (MV), examinaron la Hipótesis del Mercado Adaptativo (AMH) a través de tres anomalías de calendario bien conocidas en ocho Índices Islámicos Dow Jones (DJII) de 1996 a 2015 y más de cinco submuestras. Los resultados de SD y MV muestran que la variación de las anomalías del calendario a lo largo del tiempo respalda la AMH en los índices bursátiles islámicos. El hallazgo más importante es que los índices islámicos lograron una mayor eficiencia con el tiempo, particularmente durante la reciente crisis financiera, cuando su prevalencia aumentó considerablemente. Por lo tanto, los resultados sugieren que el AMH ofrece una mejor explicación del comportamiento de las anomalías del calendario que la Hipótesis del Mercado Eficiente.

Heymans y Santana (2018) [112] quisieron demostrar que los subíndices en la Bolsa de Valores de Johannesburgo (JSE) pasan por ciclos de eficiencia e ineficiencia, aunque el JSE en su conjunto pueda considerarse informativamente eficiente. Dada la eficacia del impacto en la selección de cartera, probaron la hipótesis adaptativa del mercado utilizando una muestra representativa de índices bursátiles mediante la prueba de relación de varianza automática, la relación de varianza conjunta de Chow-Denning y la prueba de signo conjunto en el JSE. Los resultados confirman que algunos de los índices más pequeños, y en algunos casos más jóvenes, no siempre son tan eficientes como el índice de todas las acciones, lo que permite a los gerentes de cartera con un enfoque de gestión activa algunas oportunidades para beneficiarse de las ineficiencias informativas en el mercado.

Charfeddine y otros (2018) [48] investigaron empíricamente la Hipótesis del mercado adaptativo (AMH) en dos de los mercados de bonos más establecidos del mundo: Estados Unidos y el Reino Unido y dos mercados emergentes: Sudáfrica e India, utilizando series de datos mensuales que abarcan períodos de tiempo muy largos. Examinaron las propiedades

de memoria larga de la serie usando varios métodos de estimación de memoria larga y múltiples técnicas de ruptura estructural para examinar la posibilidad de que el tiempo varíe la eficiencia del mercado. Luego examinaron la eficiencia de forma débil de los mercados de bonos del gobierno, utilizando enfoques que varían en el tiempo, a saber, la heterocedasticidad condicional autorregresiva generalizada en el espacio-estado en la media (GARCH-M) para fechar el comportamiento variable en el tiempo de la eficiencia del mercado de bonos. Los resultados muestran que la eficiencia de estos mercados ha ido cambiando con el tiempo, dependiendo de las condiciones económicas, políticas y de mercado prevalecientes. Además, se observa que el grado de eficiencia de forma débil de estos mercados ha mejorado gradualmente recientemente. En particular, el mercado de bonos del gobierno de los Estados Unidos ha sido altamente eficiente, mostrando el mayor grado de eficiencia del mercado entre los cuatro mercados de bonos. En general, los resultados sugieren que el AMH proporciona una mejor descripción del comportamiento de los rendimientos de los bonos del gobierno que la Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH).

Almudhaf (2018) [9] examinó la previsibilidad del rendimiento de la bolsa de valores de Indonesia durante 1984-2016, en ventanas móviles, utilizando también la prueba automática de Portmanteau y Automatic Variance Ratio. Encontrando que la eficiencia y la previsibilidad del mercado varían con el tiempo, de acuerdo con la hipótesis del mercado adaptativo, con rendimientos menos predecibles en los últimos períodos, una señal de mejora de la eficiencia. También encontró que una estrategia simple de inversión de compra y retención supera a varias reglas técnicas de negociación, incluso después de ajustar el riesgo. Numapau (2018) [186] también obtuvo en su estudio resultados consistentes con la AMH. El autor examinó la previsibilidad del rendimiento de dos índices: el índice GSEALSH y el índice GSEFSII en el mercado de valores de Ghana. Se observó que el índice GSEALSH era más altamente predecible que el índice GSEFSII en las tres pruebas.

Khuntia y Pattanayak (2018) [128] evalúan la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) y la previsibilidad de la evolución del rendimiento en el mercado de bitcoin. Utilizaron dos métodos robustos en ventanas móviles para capturar dependencia lineal y no lineal

que varían en el tiempo en retornos de bitcoin. Este hallazgo coincide con el de Bariviera (2017) [20] y Tiwari y otros (2018) [233], pero contradice el hallazgo de Jiang, Nie y Ruan (2018) [122]. Los hallazgos corroboran el de Caporale, Gil-Alana y Plastun (2018) [45], que evidencia episodios de eficiencia para criptomonedas emergentes Litecoin, Ripple y Dash, aunque hay evidencia de importantes ineficiencias. El hallazgo de que la eficiencia / ineficiencia evoluciona con la aparición del mercado Caporale y otros (2018) [45] respaldan las fricciones sobre el comportamiento anormal en los mercados de criptomonedas. Sin embargo, este hallazgo contradice a Brauneis y Mestel (2018) [36], quienes estudiaron 73 criptomonedas, y encontraron que la eficiencia del mercado evoluciona con el tiempo y valida el AMH en el mercado de bitcoins.

Shahid y otros (2019) [215] vincularon el mes de Ramadán con la AMH. Para cumplir con el propósito, los autores inspeccionaron los rendimientos diarios de 107 empresas individuales que cotizan en la Bolsa de Valores de Pakistán durante un período de 20 años. Para explorar el grado variable de previsibilidad de retorno durante el Ramadán, los autores utilizaron cuatro submuestras diferentes que comprenden la misma duración de observaciones de cinco años cada una. Los autores utilizaron un modelo de regresión GARCH que facilita por un tiempo la naturaleza variable de la volatilidad en los rendimientos. Para facilitar la naturaleza no normal de los datos, los autores utilizan la estadística de prueba de Kruskal-Wallis. Los autores encontraron que el comportamiento del efecto Ramadán evoluciona con el tiempo, ya que el rendimiento de este efecto varía de vez en cuando y es consistente con AMH.

Khuntia y Pattanayak (2019) [129] verificaron empíricamente la eficiencia evolutiva y variable en el tiempo del mercado de divisas de la India utilizando el marco de la hipótesis del mercado adaptativo (AMH). Si la eficiencia del mercado varía en el tiempo o es estática, y si varía en el tiempo. Emplearon un conjunto de métodos recientes que son robustos y poseen propiedades de potencia más fuertes. Además, siguieron un enfoque de ventana móvil de longitud fija para explorar la naturaleza de la eficiencia del mercado que varía en el tiempo. Los hallazgos generales sugieren que la eficiencia del mercado no es una

condición de todo o nada; varía con el tiempo. También encontraron que los episodios de eficiencia coinciden con la aparición de eventos importantes y problemas de microestructura del mercado. En particular, los cambios en el régimen cambiario, la turbulencia financiera, las principales intervenciones del banco central y el volumen comercial son las causas principales de la eficiencia que varía en el tiempo en el tipo de cambio INR-USD. La evidencia de oscilación entre eficiencia e ineficiencia puede incitar a los operadores de divisas a explotar las oportunidades de arbitraje que surgen con diferentes condiciones de mercado.

De igual manera, Chu, Zhang y Chan (2019) [53] investigaron la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) con respecto a los mercados de alta frecuencia de las dos criptomonedas más grandes: Bitcoin y Ethereum, frente al euro y el dólar estadounidense. Los hallazgos son consistentes con el AMH y muestran que la eficiencia de los mercados varía con el tiempo. También revisaron posibles noticias y eventos que coinciden con cambios significativos en la eficiencia del mercado. Además, analizaron el efecto del sentimiento de estas noticias y otros factores (eventos) en la eficiencia del mercado en la configuración de alta frecuencia, y proporcionaron un análisis de eventos simples para investigar si factores específicos afectan la eficiencia / ineficiencia del mercado. Los resultados muestran que el sentimiento y los tipos de noticias y eventos pueden no ser un factor significativo para determinar la eficiencia de los mercados de criptomonedas.

Ahmad y otros (2018) [2] investigaron si la previsibilidad del rendimiento era eficiente o adaptativa en dos mercados bursátiles emergentes diferentes de Asia: Pakistán e India, utilizando datos de series temporales. Para este propósito, se examinaron los datos de los retornos diarios de KSE-100 y NIFTY-50. La muestra abarcó los datos de 24 años de ambos mercados bursátiles (para KSE-100; de enero de 1992 a diciembre de 2015 y para NIFTY-50; de enero de 1994 a octubre de 2017). Se utilizó un análisis de submuestra, y los dos mercados de valores se dividieron en submuestras de cuatro años para aplicar las pruebas lineales para examinar cómo se han comportado los rendimientos de las acciones a lo largo del tiempo. Los resultados de las pruebas lineales (autocorrelación, varianza y

pruebas de raíz unitaria) revelaron que los mercados bursátiles de ambos países mostraron una consistencia evidente con AMH, donde los rendimientos fluctuaban entre los períodos de eficiencia e ineficiencia. Por lo tanto, descubrieron que la dependencia lineal de ambos mercados bursátiles cambia con el tiempo, y la Hipótesis del Mercado Adaptativo (AMH) ofrece una mejor representación del comportamiento de los rendimientos de las acciones que la Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH) tradicional.

Brito, Coronado, Morales y Rojas (2018) [38] analizaron la eficiencia adaptativa del mercado en la relación precio-volumen (P-V) de las acciones que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores. El período de estudio va de 1982 a 2015. Para detectar la causalidad y, por lo tanto, determinar la eficiencia adaptativa en el mercado, se aplican una prueba lineal y dos no lineales. Se aplicó la causalidad de Granger no paramétrica de Diks y Panchenko (DP) y las pruebas de bicornelación cruzada de Brooks y Hinich (BH). Los hallazgos de la prueba DP muestran que existe una causalidad de Granger no lineal bidireccional en el 25.71 por ciento de las empresas estudiadas, en comparación con el 8 por ciento al aplicar la prueba de causalidad de Granger lineal. Por lo tanto, hay evidencia de eficiencia de forma débil en el mercado. De la prueba BH, se muestra evidencia de la eficiencia adaptativa del mercado, ya que el 71.42 por ciento de las empresas exhibieron alguna forma de dependencia no lineal en ciertos períodos de tiempo. Con estos resultados, el proceso de información debería estudiarse mejor para una mayor comprensión de las políticas reguladoras en el mercado y mejores herramientas de toma de decisiones para los inversores.

Sabbaghi y Sabbaghi (2018) [208] utilizando los índices de país de Morgan Stanley Capital International (MSCI) como indicadores para los mercados bursátiles nacionales, usaron una serie de pruebas econométricas para evaluar la eficiencia del mercado de forma débil para los mercados desarrollados. Los resultados inferenciales son consistentes entre las diferentes pruebas. Específicamente, el estudio revela que la mayoría de los mercados desarrollados son eficientes en forma débil, mientras que EE. UU. es el único mercado de renta variable que se diagnostica comúnmente como ineficiente en forma débil en las diferentes pruebas cuando se utilizan datos de períodos completos que abarcan el período

de enero de 2008 a noviembre de 2011 . Sin embargo, al basar el análisis en submuestras de un año durante el mismo período de tiempo, este estudio no puede rechazar la eficiencia del mercado de forma débil para todos los mercados desarrollados y presenta evidencia consistente con la Hipótesis del Mercado Adaptable descrita por Urquhart y Hudson (2013) [240]. Al aplicar el análisis técnico para el caso de los EE. UU. durante el período de estudio completo, los resultados indican que las previsibilidades de rendimiento pueden explotarse para algún horizonte de reglas comerciales de media móvil de longitud variable (VMA).

Obalade y Muzindutsi (2019) [187] examinaron el comportamiento cambiante de dos anomalías de calendario en el mercado de valores africano - el mes del año y los efectos intra-mes - y sus implicaciones para la Hipótesis de Mercado Adaptativo (AMH). Los autores aplicaron dos etapas en el modelo cambiante de Markov (MSMs) en lugar del convencional modelo de regresión de un solo estado. El período de muestra incluye el rendimiento diario de los mercados bursátiles nigerianos, surafricanos, mauricianos, marroquíes y tunecinos desde enero de 1998 hasta febrero de 2018.

Encontrando que:

- Todos los mercados, excepto la Bolsa de Valores de Johannesburgo (JSE) tienen una mayor tendencia a estar en estado bajista que en estado alcista.
- Que los efectos mes del año e intra mes aparecen en un régimen y desaparecen en otro régimen.
- Las anomalías del comportamiento de calendario se ven afectadas por las condiciones del mercado y se ajustan a AMH en lugar de la Hipótesis de Mercado Eficiente (EMH).

Los autores concluyen que:

- La anomalía del calendario es una característica que cambia bajo diferentes regímenes o condiciones de mercado en los mercados bursátiles africanos.

- La gestión activa de inversiones puede generar ganancias para los participantes del mercado, dependiendo de las condiciones del mercado y la anomalía en cuestión.
- El enfoque correcto sería que los inversores consideren cada mercado con su propia peculiaridad incluso cuando están en el mismo continente.

En esta misma línea Xiong y otros (2019) [251] examinaron la AMH a través de cuatro efectos de calendario en el mercado de valores de China. En particular, emplearon análisis de submuestras y análisis de ventana móvil, construyeron estrategias de inversión basadas en los efectos del calendario para determinar si funcionan como AMH supone. Los resultados empíricos muestran que tanto el rendimiento de los cuatro efectos de calendario como el exceso de rendimiento de las estrategias de inversión varían de vez en cuando. En términos generales, los resultados que la AMH da una mejor explicación de la dinámica del mercado en el mercado de valores de China.

De igual manera, Boya (2019) [35] examinó el grado de eficiencia del mercado bursátil francés, verificando tanto la hipótesis del mercado eficiente (EMH) como la hipótesis del mercado adaptativo (AMH). Utilizó un enfoque de prueba de relación de varianzas variable para proporcionar una visión general del comportamiento de eficiencia de 1988 a 2018. Encontrando que los resultados son consistentes con la AMH. De hecho, parece que el mercado de valores francés presenta períodos sucesivos de eficiencia e ineficiencia. Además, los períodos de ineficiencia coinciden con los principales eventos macroeconómicos.

Por otro lado, Akhter (2019) [4] realizó su estudio examinando el comportamiento de los precios de las acciones de todas las compañías que cotizan en la Bolsa de Valores de Dhaka (DSE) de Bangladesh, concluyendo que los inversores de los mercados de valores emergentes pueden no adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado, como los inversores de los mercados desarrollados, como se informa en la literatura de AMH.

Trung y otros (2019) [237] probaron la hipótesis del mercado adaptativo en las dos principales bolsas de valores vietnamitas: la Bolsa de valores de la ciudad de Ho Chi Minh (HSX) y la Bolsa de valores de Hanoi (HNX), midiendo la relación entre los rendimientos de

las acciones actuales y los rendimientos históricos de las acciones. En particular, las pruebas empleadas fueron la prueba automatic variance ratio (AVR), la prueba de Portmanteau automática (AP), la prueba espectral generalizada (GS) y el enfoque autorregresivo variable (TV-AR). Los resultados empíricos validaron la hipótesis del mercado adaptativo en el mercado de valores vietnamita. Además, los resultados sugieren que la evolución de HSX ha servido como un factor importante de la hipótesis del mercado adaptativo.

De la misma forma, Le Tran y Leirvik (2019) [145] construyeron una medida para investigar el nivel de eficiencia del mercado y analizar su variación a lo largo del tiempo. La principal contribución de esta medida es que facilita la comparación de la eficiencia del mercado entre activos, tiempo, regiones y frecuencias de datos. Encontrando que los mercados a menudo son eficientes, pero pueden ser significativamente ineficientes durante períodos más largos. Los resultados empíricos indicaron que en muchos períodos de eventos económicos importantes, los mercados financieros se vuelven menos eficientes. Esto corrobora los resultados anteriores sobre la eficiencia del mercado y simplifica la interpretación y las comparaciones.

Utilizando una muestra de acciones estadounidenses y chinas entre julio de 1999 y junio de 2016, Yang, Xue, Su, y Yan (2019) [252] investigaron el papel de la ineficiencia informativa en los mercados de valores. Encontrando que las relaciones entre los retornos y el factor de ineficiencia informativa cambian estadísticamente de significativamente positivo a insignificante, y es más, a significativamente negativo a medida que aumenta la eficiencia informativa. Este hallazgo proporciona nuevas ideas sobre la creencia común de que los mercados emergentes son menos eficientes que los mercados desarrollados. Adicionalmente, propusieron nuevos modelos de factores para mercados menos eficientes.

Kulikov, Taylor y Kulikova (2019) [139] considerando que la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) proporciona una motivación convincente de por qué la eficiencia del mercado no debe considerarse como una propiedad estable en el tiempo, en su artículo explora una metodología bayesiana para estimar la eficiencia del mercado de forma débil bajo la AMH utilizando una prueba de eficiencia evolutiva o llamado en inglés como test

of evolving efficiency (TEE). Con mayor precisión, proponen un enfoque generalizado de TEE (GTEE) en el que se supone que el primer momento condicional de una serie de tiempo es una función no lineal de su segundo momento condicional, es decir, un término de retroalimentación no lineal está presente en la ecuación de media condicional. Luego analizaron el procedimiento de estimación de máxima verosimilitud para el modelo no lineal resultante utilizando el enfoque de espacio de estado y el filtrado de Kalman extendido, para estimar la variación con el tiempo en la eficiencia del mercado de forma débil de cuatro mercados, elegidos específicamente, durante un período de tiempo que incluye la crisis financiera mundial de 2007/2008.

Shantha (2019) [221] exploró cómo se produce el aprendizaje dentro de los inversores individuales para reducir su sesgo de rebaño. Los datos se recopilaron a una muestra de 1000 inversores individuales de la Bolsa de Valores de Colombia, que fueron seleccionados al azar durante un período de marzo a agosto de 2018. Recibieron un total de 189 respuestas, que fueron analizadas utilizando la técnica de modelado de ecuaciones estructurales para probar las hipótesis del modelo teórico. Los resultados muestran que el aprendizaje tiene lugar cuando los inversores evalúan cognitivamente las experiencias comerciales pasadas, lo cual es inducido por su deseo de aprender y, en consecuencia, reduce su sesgo de rebaño. Sin embargo, como predice el modelo, el fortalecimiento de esta reflexión cognitiva a partir de la relación con el asesor de inversiones y el aprendizaje social entre los inversores a través de sus relaciones entre pares parece estar ausente debido a las condiciones de mercado inciertas que prevalecieron durante el período de estudio y el dominio de los inversores poco sofisticados en el mercado. Con estos hallazgos concluyeron que la reflexión cognitiva de las experiencias pasadas y la naturaleza del entorno comercial determinan el alcance del aprendizaje dentro de los inversores individuales.

Shahid y otros (2019) [216] vincularon la previsibilidad de los retornos de oro, plata y metal con la AMH, lo que permite que la previsibilidad de los rendimientos varíe con el tiempo. Los rendimientos de los metales preciosos se observaron utilizando pruebas de series de tiempo lineales apropiadas. Para capturar la eficiencia variable de tres produc-

tos, el estudio empleó submuestras de cinco años y todas las submuestras pasaron pruebas econométricas lineales para revelar cómo se ha comportado la eficiencia del mercado (independencia de los rendimientos) con el tiempo. Encontrando que el mercado del oro, plata y metal es adaptativo porque se observa fluctuación en la eficiencia del mercado. Los rendimientos de los tres productos básicos pasaron por los períodos de eficiencia e ineficiencia. Por lo tanto, AMH es la mejor descripción del comportamiento de los mercados de productos básicos que la hipótesis tradicional de mercado eficiente.

Ghazani y Ebrahimi (2019) [101] también examinaron la existencia de la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) como una alternativa evolutiva a la hipótesis del mercado eficiente (EMH), pero ésta vez, mediante la aplicación de los rendimientos diarios de los tres crudos de referencia. La cobertura de datos de las devoluciones diarias es de 2003 a 2018. En este estudio, se aplica el análisis automático y las pruebas espectrales generalizadas. Los resultados muestran que los mercados de petróleo Brent y WTI poseen los más altos niveles de eficiencia. Además, el comportamiento de los datos de la cesta de la OPEP representa eso cuando se acerca a ventanas más largas (por ejemplo, de 100 a 500 días); el grado de conformidad con AMH disminuye.

El reciente trabajo de Khursheed (2020) [130] examina la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) en relación con la eficiencia del mercado que varía con el tiempo mediante el uso de tres pruebas: Generalized Spectral (GS), Dominguez-Lobato (DL) y la prueba de Portmanteau (AP) en cuatro monedas digitales; Bitcoin, Monero, Litecoin y Stellar durante el período de muestra de 2014-2018. El estudio aplica la prueba Jarque-Bera, la prueba ADF, la prueba Ljung-Box y la prueba ARCH-LM para evaluar la normalidad de los retornos, la estacionariedad de las series, la correlación serial y la agrupación de volatilidad en los retornos y los retornos al cuadrado de las criptomonedas seleccionadas. Además, adopta una categoría extremadamente importante de hipótesis de diferencia de martingala (MDH), que utiliza métodos de dependencias no lineales para identificar la dependencia lineal y no lineal cambiante en el movimiento de precios de las monedas. Los resultados indican que los movimientos de precios con dependencias lineales y no lineales varían con

el tiempo. Las pruebas también revelan que Bitcoin, Monero y Litecoin tienen los períodos de eficiencia más largos, mientras que Stellar muestra el período de mercado ineficiente más largo. En vista de las condiciones variables del mercado, los resultados indican que diferentes períodos de mercado tienen un impacto significativo en las fluctuaciones de precios de las criptomonedas. Por lo tanto, los hallazgos de este estudio sugieren que la implementación de la hipótesis del mercado adaptativo (AMH) como predicción de los cambios en los precios de las criptomonedas a lo largo del tiempo debe considerar las condiciones del mercado que varían en el tiempo para un pronóstico eficiente.

Continuando con el estudio de la eficiencia de los mercados de criptomonedas, Noda (2020) [184] midió el grado de eficiencia del mercado utilizando un modelo de tiempo variable generalizado basado en mínimos cuadrados que no depende del tamaño de la muestra, a diferencia de estudios anteriores que utilizaron métodos convencionales. Los resultados empíricos mostraron que (1) el grado de eficiencia del mercado varía con el tiempo en los mercados y (2) el nivel de eficiencia del mercado de Bitcoin es más alto que el de Ethereum en la mayoría de los períodos. Llegando a la conclusión de que los resultados respaldan el AMH para el mercado de criptomonedas más establecido.

De igual manera, Mushinada (2020) [180] utilizando datos de encuestas detalladas de 384 inversores indios, examinó si existe un sesgo de autoatribución y un sesgo de exceso de confianza en el mercado de valores indio y si los inversores individuales se adaptan o no a la dinámica del mercado. Encontrando evidencia de la existencia de sesgos cognitivos junto con la racionalidad y la tendencia de los inversores a adaptarse al entorno cambiante una vez que experimentan pérdidas o eventos inciertos. Esto llevará a los mercados hacia un nuevo equilibrio a largo plazo de acuerdo con la hipótesis del mercado adaptativo. Sin embargo, los inversores a veces muestran un comportamiento aparentemente irracional durante este proceso. El estudio proporciona evidencia empírica, a nivel de inversionista individual, para la existencia simultánea de la racionalidad de los inversores y los sesgos cognitivos, lo que hace que los inversores se adapten al entorno cambiante.

Rosini y Shenai (2020) [206] analizaron el comportamiento de los rendimientos de ac-

ciones y las anomalías del calendario durante un período de diez años: 2007-2016 en la Bolsa de Londres, a través de dos índices principales, el FTSE100 y el FTSE250. La eficiencia de los índices y la presencia de anomalías en el calendario se investigan con pruebas paramétricas y no paramétricas. Los dos índices principales del mercado de valores del Reino Unido experimentan cambios desde los estados de dependencia de los rendimientos hasta la independencia de los retornos y viceversa, pero su comportamiento no es concomitante. Este estudio encuentra que los mercados financieros en el Reino Unido pueden sufrir cambios de estados de ineficiencia que se mueven a eficiencia y viceversa en apoyo de la Hipótesis del Mercado Adaptativo. Este estudio también captura el comportamiento inconstante y variable en el tiempo de las anomalías del calendario y su aparición. Esto nuevamente respalda la hipótesis del mercado adaptativo.

Kilic (2020) [131] examinó la previsibilidad del retorno del índice Borsa Istanbul 100 (XU100) en el marco de la hipótesis adaptativa del mercado. Las series de retorno se analizaron entre el 2 de enero de 2013 y el 26 de abril de 2019 utilizando la prueba automática Portmanteau Box-Pierce, la prueba espectral generalizada y la prueba Wild-bootstrapped Automatic Variance Ratio. La validez de la hipótesis adaptativa del mercado se probó para tener en cuenta la variación temporal tanto para el período de muestra completo como para los subperíodos. Por otro lado, se examinó la previsibilidad de los rendimientos de las acciones utilizando el enfoque de ventana móvil de 300, 400 y 500 días y se descubrió que la hipótesis adaptativa del mercado no era compatible de acuerdo con los tres resultados de la prueba. En otras palabras, se determinó que el grado de eficiencia del índice bursátil no cambia con el tiempo según las condiciones del mercado. Los resultados de la investigación son similares con los de Neely, Weller y Ulrich (2009) [181] y Hiremath y Kumari (2014) [113]. Los resultados del análisis para el período de muestra mostraron que los rendimientos de las acciones no se pueden estimar en Borsa Estambul y que los inversores no pueden obtener rendimientos anormales en este mercado. Una limitación importante de este estudio es que los resultados son válidos solo para el período especificado examinado en Borsa Estambul y no pueden generalizarse para diferentes mercados y períodos. Por

lo tanto, los estudios futuros para diferentes mercados pueden contener una contribución significativa para la validez de la hipótesis.

Por último, el trabajo de Sánchez y otros [214] también concluyen que el funcionamiento del arbitraje en mercados desarrollados durante periodos concretos de tiempo se puede considerar un argumento en favor de la AMH.

2.1.3. La Hipótesis del Mercado Fractal (FMH)

Peters (1994) [194] propone la hipótesis del mercado fractal, que puede resumirse como el conflicto entre aleatoriedad y el determinismo. Por un lado, según Peters, hay analistas que sienten que el mercado es perfectamente determinista; por otro lado, hay un grupo que siente que el mercado es completamente aleatorio, destaca que existe la posibilidad de que ambos grupos tengan razón de forma limitada. Sin embargo, lo que surge de estas verdades parciales es un análisis bastante diferente, se enfoca principalmente en el análisis R/S, el cuál puede distinguir los fractales de otros tipos de estructura de mercado.

Kristoufek (2012) [136] considera que es esta heterogeneidad respecto a los horizontes de inversión la piedra angular de la FMH. El mercado consiste según la FMH en un conjunto de inversores con diferentes horizontes temporales para obtener sus ganancias, puede ser minutos, horas, semanas, meses e incluso años. Los inversores con diferentes horizontes de inversión tratan la información entrante de forma diferente y, a su vez, tienen reacciones distintas (los participantes del mercado con un horizonte de inversión corto se centran en la información técnica y en el comportamiento de los demás participantes del mercado; mientras que, los inversores con un horizonte de inversión largo, basan sus decisiones sobre el comportamiento de la multitud o comportamiento general del mercado).

La información específica puede ser una señal de venta para un inversor a corto plazo pero una oportunidad de compra para un inversor a largo plazo y viceversa. La existencia de inversores con diferentes horizontes asegura un funcionamiento estable del mercado. Weron y Weron (2000) [246] rechazaron el principio de homogeneidad de los inversores en los mercados de capitales y propusieron utilizar la hipótesis de mercados heterogéneos, donde diferentes participantes del mercado, analizan eventos pasados y nuevos con diferentes horizontes temporales. Con base en esta hipótesis, estos autores utilizaron el enfoque de los mercados fractales, en donde se reconoce una dependencia exponencial, no lineal, entre la información y los horizontes de inversión con el comportamiento de los inversores.

La hipótesis del mercado fractal sugiere que, durante las fases estables del mercado,

todo horizonte de inversión está igualmente representado para que la oferta y la demanda en el mercado se eliminen sin problemas, ocurriendo todo lo contrario en períodos inestables como crisis. Estas dos implicaciones proporciona rasgos característicos que se deben buscar en el comportamiento del mercado. FMH está estrechamente conectado a una noción de multifractalidad y dependencia a largo plazo en la serie subyacente. El proceso X_t se considera multifractal si tiene incrementos estacionarios cuya escala sea:

$$|X_{t+\tau} - X_t|^q \propto \tau^{qH(q)} \quad (2.1.10)$$

Para $\tau > 0$ y para todo q Calvet y Fisher (2008) [43]. $H(q)$ es llamado exponente de Hurst generalizado y su dependencia de q separa los procesos en dos categorías: monofractal (o unifractal) para constante $H(q)$ y multifractal cuando $H(q)$ es una función de q . Para $q = 2$, se consideró la dependencia a largo plazo de los incrementos del proceso X_t . De igual manera, se designó $H \equiv H(2)$.

El exponente de Hurst (H) está conectado a la función de autocorrelación hiperbólicamente asintótica $p(k)$, es decir, $p(k) \propto k^{2H-2}$ para $k \rightarrow \infty$. Para $H = 0.5$, existe un proceso aleatorio; para $H > 0.5$, tenemos un proceso persistente; y para $H < 0.5$, un proceso antipersistente. Los procesos persistentes tienen una tendencia visual pero aún permanecen estacionarios, mientras que los procesos antipersistentes cambian su signo con mayor frecuencia que los procesos aleatorios.

Onali y Goddard (2011) [190] contractaron la hipótesis del mercado fractal para diversos mercados de renta variable europeos y de Estados Unidos, encontrando evidencia de dependencia en el largo plazo. Estos resultados contradicen la hipótesis de eficiencia de mercados de Fama (1965) [78]. Estos autores señalaron que corrigiendo la dependencia a corto plazo se puede determinar la dependencia a largo plazo, sugiriendo que el mercado es eficiente, cuando en realidad no lo es. Kristoufek (2012) [136] también realizó el análisis fractal de los mercados de acciones, consolidando lo que se conoce como hipótesis de mercados fractales.

Sánchez-Granero y otros (2012) [211] indicaron que las investigaciones a lo largo de los últimos 50 años se podían agrupar en dos tendencias principales:

- Aquellos que consideraban que los precios de las acciones siguen el movimiento Browniano, lo cual implica un nivel requerido de aleatoriedad en la evolución de la tendencia.
- Aquellos que quieren demostrar que los precios siguen un movimiento Browniano fraccional, lo que implica que los mercados muestran un comportamiento fractal con memoria a largo plazo.

En este artículo, Sánchez, Fernández y Trinidad (2012) [211] introdujeron un nuevo concepto de dimensión fractal, el cual llamaron método FD, evaluando el comportamiento y la confiabilidad de series de tiempo con diferentes longitudes utilizando simulaciones de Montecarlo.

Sobre la base del trabajo de Kristoufek y Vosvrda (2013) [137], donde se introduce una nueva medida para la eficiencia de mercados en base a la estructura de la correlación de los retornos y el comportamiento local de los inversores, Kristoufek y Vosvrda (2014) [138] utilizaron la memoria a largo plazo, la dimensión fractal y la entropía aproximada como variables de entrada para medir la eficiencia.

Kumar y Bandi (2015) [140] mencionaron en su trabajo que cada inversionista se comporta diferente bajo los diferentes horizontes de tiempo en que operan, el estudio se basó en el análisis desde 1999 al 2013, de dos principales índices de la India: BSE SENSEX y NSE NIFTY. Dentro del período analizado incluye la caída de las punto.com, la crisis mundial del 2008, así como dos elecciones en la India. Durante esta época de crisis, el comportamiento del mercado marcó mayor actividad entre todas las escalas de tiempo, según lo propuesto por el Hipótesis del Mercado Fractal. Entre los resultados encontraron que el mercado de acciones de la India está influenciado, posiblemente, por las turbulencias políticas internas y las crisis financieras en mercados internacionales. Así mismo, consideran

que el comportamiento de los inversores durante eventos extremos impacta en la eficiencia de los mercados.

Barna (2016) [21] propuso también la hipótesis de los mercados fractales como alternativa para superar los límites de la EMH. El autor considera que la FMH provee explicaciones interesantes de varios tipos de imperfecciones de mercado, como los efectos de las llamadas “colas gordas” o “fat tail”, volatilidad estocástica y la autosimilitud. En este artículo, se encontró que los mercados emergentes de Europa y Asia están más cerca del estatus de "no persistencia", mientras que los mercados de América Latina exhiben signos más significativos de persistencia local, es decir, que los mercados latinoamericanos muestran fuertes autocorrelaciones positivas para el período analizado.

Resulta de interés el trabajo de Ramos, Trinidad y Sánchez (2017) [199], donde, mediante el uso de técnicas de arbitraje estadístico sobre pares de activos usando el exponente de Hurst, se logra un rendimiento superior al mercado, incluso considerando costes de transacción. Los autores prueban que en momentos de elevada volatilidad la metodología adoptada obtiene rendimientos aún superiores, lo que puede estar en sintonía también con la hipótesis del Mercado Fractal. Bajo un mercado eficiente estas estrategias de negociación no deberían de funcionar en ningún caso.

Los resultados de este trabajo no van en la línea de otros autores (Mitchell y Pulvino, 2001 [177]; Korajczyk y Sadka, 2004 [133]; Grundy y Martin, 2001 [107]; Chan, Jha y Kalimipalli, 2009 [46] o Do y Faff, 2012 [72]) que encontraron que el Pairs Trading no reportaba ningún beneficio constante durante un período significativo de tiempo si se consideran los costos de transacción y las comisiones, circunstancia que se atribuía principalmente a la eficiencia del mercado.

Capítulo 3

Fundamentos de Pairs Trading

3.1. El Arbitraje Estadístico

3.1.1. Caracterización

Hogan y otros (2004) [114] definen el arbitraje estadístico en un espacio de probabilidad general y en una economía de horizonte de tiempo infinito en su lugar. Presentaron el concepto de arbitraje estadístico como una oportunidad comercial de horizonte largo que genera una ganancia sin riesgo y está diseñada para explotar anomalías persistentes. El arbitraje estadístico evita el dilema de hipótesis conjunta de las pruebas tradicionales de eficiencia del mercado porque su definición es independiente de cualquier modelo de equilibrio y su existencia es incompatible con eficiencia de mercado. Proporcionaron una metodología para evaluar el arbitraje estadístico y luego investigaron empíricamente si el impulso y las estrategias de negociación de valor constituyen oportunidades de arbitraje estadístico. Los autores mencionaron que el arbitraje estadístico es una extensión natural de las estrategias comerciales utilizadas en la literatura empírica existente sobre anomalías persistentes. El arbitraje estadístico es el análogo de la serie temporal de la oportunidad de arbitraje limitante contenida en Ross (1976) [207]. Más importante aún, el arbitraje estadístico se define sin referencia a ningún modelo de equilibrio, por lo tanto, su existencia es inconsistente con el equilibrio del mercado y, por inferencia, la eficiencia del mercado según Jarrow, (1988) [119].

Como tal, el arbitraje estadístico rechaza la eficiencia del mercado sin invocar la hipótesis conjunta de un modelo de equilibrio.

Hogan y otros (2004) [114] relacionaron el arbitraje estadístico y la eficiencia de mercado. Indicaron que en la economía se negocian acciones o portafolios S_t y mercado monetario B_t inicializado en un dólar ($B_0 = 1$). Las estrategias comerciales son fundamentales para la noción de arbitraje estadístico. Al igual que en la literatura de precios de opciones estándar, permitiendo que el proceso estocástico $(x(t), y(t): t \geq 0)$ representen una estrategia comercial de autofinanciamiento de costo inicial cero que incluye $x(t)$ unidades de acción y

$y(t)$ unidades de mercado monetario en el momento. Esta estrategia comercial se formula utilizando solo la información disponible, como los rendimientos pasados, el tamaño de las empresas, los anuncios de ganancias, los valores de mercado versus los libros, las tasas de crecimiento de las ventas o las condiciones macroeconómicas. Estas estrategias comerciales, por definición, deben tener un costo inicial cero, es decir $x(0) S_0 + y_0 = 0$. Para enfatizar, la acción podría representar una cartera de autofinanciamiento (costo cero) que consta de posiciones largas y cortas en varios conjuntos de riesgo.

Aunque los modelos de equilibrio de mercado podrían ayudar a identificar posibles estrategias de negociación, no se requiere un modelo de equilibrio de mercado. Donde $V(t)$ denota las ganancias comerciales acumuladas en el momento que se generan por dicha estrategia comercial ($x(t): t \geq 0$). En el siguiente análisis, será necesario trabajar con el valor descontado de los beneficios comerciales acumulados definidos como $v(t) = V(t)/B_t$. Para ilustrar estos conceptos y diversas características de las estrategias comerciales típicas, Hogan y otros (2004) [114] consideraron algunos ejemplos.

Ejemplo 1. Considerando la economía estándar de Black-Scholes con un precio de acciones que no paga dividendos, que evoluciona de acuerdo con

$$S_t = S_0 e^{\alpha t - \sigma^2 t/2 + \sigma W_t} \quad (3.1.1)$$

Y un mercado monetario $B_t = e^{rt}$, donde α, σ^2, r son constantes no negativas $\alpha > r$ y W_t es un movimiento browniano estándar. Considerando la estrategia comercial de autofinanciamiento que consiste en comprar y mantener una unidad de las acciones, financiadas con la cuenta del mercado monetario. El valor de esta cartera en el tiempo t es

$$V(t) = 1 \cdot S_t - S_0 \cdot e^{rt} = S_0 (e^{[\alpha - \sigma^2/2]t + \sigma W_t} - e^{rt}) \quad (3.1.2)$$

Representando las ganancias comerciales acumuladas con un valor inicial $V(0) = 0$. Las expectativas y la variación de los beneficios comerciales descontados acumulativos se

aproximan infinito cuando $t \rightarrow \infty$,

$$E^P[v(t)] = S_0 [e^{(\alpha-r)t} - 1] \rightarrow \infty \text{ y } Var^P[v(t)] = S_0^2 e^{2(\alpha-r)t} [e^{\sigma^2 t} - 1] \rightarrow \infty \quad (3.1.3)$$

Además, la varianza promediada en el tiempo $Var^P[v(t)]/t$; también converge a ∞ cuando $t \rightarrow \infty$.

Ejemplo 2. Considerando el valor acumulado descontado de una estrategia comercial $V(t)$ que evoluciona de acuerdo a

$$v(t) = \alpha t + \sigma W_t \quad (3.1.4)$$

Con $v(0) = 0$. La expectativa y la varianza de las ganancias comerciales descontadas acumuladas son ambos ilimitados cuando $t \rightarrow \infty$,

$$E^P[v(t)] = \alpha t \rightarrow \infty \text{ y } Var^P[v(t)] = \sigma^2 t \rightarrow \infty \quad (3.1.5)$$

mientras que la varianza promediada en el tiempo es finita e igual a σ^2 .

Ejemplo 3. Revisando la estrategia comercial de compra y retención subyacente en el Ejemplo 2. Suponiendo que las ganancias comerciales con descuento sobre una negociación intermedia arbitraria en el intervalo $[t_{k-1}, t_k]$ puede ser representada como

$$v(t_k) - v(t_{k-1}) = \mu + \sigma z_k \quad (3.1.6)$$

donde $\mu, \sigma > 0$ y z_k son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con media cero y varianza $1/k$. Esta estrategia comercial tiene expectativas positivas de beneficios descontados en cada intervalo (μ); pero con ruido aleatorio (σz_k) añadido. La variación del ruido está disminuyendo con el tiempo. Una vez más, $V(t) = 0$ y los beneficios

comerciales acumulados con descuento en el tiempo t_n son iguales.

$$v(t_n) = \sum_{k=1}^n [v(t_k) - v(t_{k-1})] = \mu n + \sigma \sum_{k=1}^n z_k \quad (3.1.7)$$

Donde se observa $E^P[v(t_n)] = \mu n$ y $Var^P[v(t_n)] = \sigma^2 \sum_{k=1}^n (1/k)$ ambos tienden a infinito. Sin embargo, $Var^P[v(t_n)]/n = \sigma^2 \sum_{k=1}^n (1/k)/n \rightarrow 0$ cuando $n \rightarrow \infty$.

Con el tiempo, de forma análoga a la diversificación transversal en el APT de Ross, el ruido aleatorio en la estrategia comercial del Ejemplo 3 es "diversificable". De hecho, esta estrategia comercial ofrece una ganancia esperada descontada positiva con una varianza promediada en el tiempo que se aproxima a cero y captura la intuición detrás del arbitraje estadístico.

3.1.2. Una revisión de las principales aportaciones de la literatura financiera

Cornell y Shapiro (1989) [57] en su artículo documentan una aparente anomalía en el precio de los bonos del Tesoro a 30 años del 9.25% durante los meses de mayo y junio de 1986. Durante este período, el precio subió bruscamente en relación con los precios de otros bonos del Tesoro a largo plazo y creó una potencial oportunidad de arbitraje. Además, los propietarios de los bonos de 9.25% pudieron pedir prestado a una tasa de interés cero comprometiendo sus bonos. Un examen detallado revela que esta anomalía relativa en los precios no se puede atribuir a cambios en la estructura de nivel o plazo de las tasas de interés ni a diferencias entre los bonos con respecto a la liquidez, los impuestos o la duración.

Brennan y Schwartz (1990) [37] en su artículo desarrollaron la estrategia óptima para un programa arbitrajista en contratos de futuros sobre índices bursátiles y simuló el desempeño de la estrategia en 16 contratos de futuros con vencimiento de 1983 a 1987. La política óptima depende del proceso estocástico que describe la evolución de la simple oportunidad

de arbitraje. Asumió que la oportunidad de arbitraje simple sigue un proceso browniano cuyos parámetros estimaron. Los parámetros no fueron estacionarios en todos los contratos. El verdadero desafío, para ese tiempo, fue endogeneizar el comportamiento estocástico de la simple oportunidad de arbitraje dada la naturaleza de los costos de transacción y la estructura del mercado.

De igual manera, Froot y Dabora (1999) [96], examinaron acciones de grandes empresas "siamese twin" cuyas acciones se negocian en todo el mundo pero tienen diferentes hábitats comerciales y de propiedad. Los gemelos sondean sus flujos de efectivo, con mercados integrados donde se negocian más, es decir, el precio relativo de un gemelo aumenta cuando aumenta el mercado en el que se negocia relativamente. Examinaron varias explicaciones para este fenómeno: usos discrecionales de la renta dividida por las empresas matrices; diferencias en los gastos de los padres; cuestiones de derechos de voto, fluctuaciones monetarias; cuestiones de tiempo ex-fecha de dividendo; y heterogeneidad de inversores inducida por impuestos. Solo esta última hipótesis puede explicar algunos de los hechos, pero no todos. Otras posibles explicaciones incluyen: los choques de sentimiento específicos de cada país afectan los movimientos del precio de las acciones de las acciones negociadas localmente en proporción a su intensidad de negociación / propiedad local, y los inversores son racionales, pero los mercados están segmentados por fricciones distintas de los costos de las transacciones internacionales, como los problemas de agencia.

Mitchell, Pulvino y Stafford (2002) [176] examinaron los impedimentos al arbitraje en 82 situaciones entre 1985 y 2000, donde el valor de mercado de una empresa es menor que la suma de sus partes que cotizan en bolsa. Estas situaciones sugieren claras oportunidades de arbitraje y brindan un entorno ideal para estudiar los riesgos y las fricciones del mercado que impiden que los arbitrajistas fuercen inmediatamente los precios a valores fundamentales. Encontraron que el 30 % de las situaciones terminan sin converger. Además, debido a la liquidación forzosa para satisfacer los requerimientos de capital, estimando que los retornos a un arbitrajista especializado serían 50 % mayores si el camino hacia la convergencia fuera más suave que como se observa. La incertidumbre sobre la distribución de los rendimientos

y las características de los riesgos concluyen que parece ser un obstáculo importante.

Durante el auge en las acciones tecnológicas, aparecieron varias violaciones a la ley de un precio, y los altos costos de transacción limitaron el arbitraje, permitiendo que estos errores de valoración persistieran. Lamont y Thaler (2003) [143] investigaron estos casos inusuales, errores de valoración en ofertas públicas parciales de acciones de alta tecnología. Su estudio se centra en ofertas públicas parciales recientes de acciones tecnológicas en las cuales la casa matriz ha indicado su intención de escindir sus acciones remanentes. Lamont y Thaler examinan varios casos de acciones mal valoradas y documentan las fricciones del mercado que permiten que los precios sean incorrectos, concluyendo que dos cosas son necesarias para una valoración errónea: costos de negociación e inversionistas irracionales.

Bondarenko (2003) [33] introduce el concepto de una oportunidad de arbitraje estadístico (SAO) en una economía de tiempo finito. Un SAO es una estrategia de negociación de costo cero para la cual

1. El resultado esperado es positivo.
2. El resultado esperado condicional en cada estado final de la economía no es negativo.

Si el núcleo de fijación de precios en la economía es independiente de la ruta, entonces no pueden existir SAO. Además, descartar SAOs impone una nueva restricción de tipo martingala en la dinámica de los precios de las acciones.

Las propiedades importantes de la restricción son:

- No tiene modelo, en el sentido de que no requiere suposiciones paramétricas sobre el modelo de equilibrio verdadero.
- Puede probarse en muestras afectadas por sesgos de selección, como el problema del peso.
- Continúa manteniéndose cuando las creencias de los inversores están equivocadas.

El autor argumenta que uno puede usar la nueva restricción para resolver empíricamente el problema de la hipótesis conjunta presente en las pruebas tradicionales de la hipótesis del mercado eficiente.

Tomando en cuenta el rápido crecimiento de las estrategias de negociación algorítmica de alta frecuencia, Manahov, Hudson y Urquhart (2019) [163] consideraron interesante volver a los prolongados debates sobre la eficiencia de los precios de las acciones y la mejor manera de modelar las acciones de los participantes del mercado. Para evaluar la evolución de la previsibilidad del precio de las acciones en el marco de tiempo de milisegundos y examinar si es coherente con la hipótesis del mercado adaptativo, desarrollaron tres mercados de acciones artificiales utilizando un algoritmo comercial de programación genética fuertemente tipado (STGP). Simularon el comercio en la vida real mediante la aplicación de STGP a datos de milisegundos de las tres acciones con mayor capitalización: Apple, Exxon Mobil y Google, y observaron que las oportunidades de ganancias en el marco de tiempo de milisegundos se modelan mejor a través de un proceso evolutivo que implica selección natural, adaptación, aprendizaje y evolución dinámica que mediante el uso de técnicas analíticas convencionales. Los autores utilizaron combinaciones de técnicas de pronóstico como puntos de referencia para demostrar que diferentes heurísticas permiten a los inversionistas artificiales ser racionales, tomando decisiones adaptativas que combinan la precisión del pronóstico con la velocidad.

Stübinger y Schneider (2019) [229] desarrollaron una estrategia de arbitraje estadístico en toda regla basada en un modelo de difusión de salto de reversión a la media y la aplica a datos de alta frecuencia de los componentes del S&P 500 desde enero de 1998 hasta diciembre de 2015. En particular, la selección establecida y el marco comercial identifica lagunas de precios durante la noche en función de un procedimiento avanzado de prueba de salto y explota las anomalías temporales del mercado durante los primeros minutos de un día de negociación. La existencia de la supuesta propiedad de reversión de la media se confirma mediante un análisis preliminar del índice S&P 500; Esta característica es particularmente significativa 120 minutos después de la apertura del mercado. En el estudio

empírico de back-testing, la estrategia ofrece retornos estadísticamente y económicamente significativos de 51.47 por ciento anual y un índice de Sharpe anualizado de 2.38 después de los costos de transacción. Compararon el algoritmo de negociación con las estrategias cuantitativas existentes de la misma área de investigación y encontraron que su rendimiento es superior en una multitud de características de riesgo-retorno. Finalmente, un análisis de inmersión profunda muestra que los resultados son consistentemente rentables y robustos, incluso en los últimos años.

Las estrategias de arbitraje estadístico generalmente se basan en modelos de rendimiento. Focardi, Fabozzi y Mitov (2016) [95] introducen una nueva estrategia de arbitraje estadístico basada en modelos dinámicos de precios de factores. Su objetivo es explotar las propiedades de reversión a la media de los precios reportados en la literatura. Lo hacen porque, para capturar la misma información utilizando un modelo de factor basado en el rendimiento, se necesitaría un número mucho mayor de retrasos, lo que llevaría a una estimación de parámetros inexacta. Para probar empíricamente el rendimiento relativo de los modelos basados en el rendimiento y en el precio, construyeron carteras (largo-corto, largo-solo e igualmente ponderado) con base en los pronósticos generados por dos modelos de factores dinámicos.

Utilizando el stock de compañías incluidas en el índice S&P 500 para la construcción de carteras, el análisis empírico prueba estadísticamente el rendimiento de pronóstico relativo usando el marco Diebold-Mariano y realiza la prueba de arbitraje estadístico propuesta por Hogan y otros (2004) [114]. Los resultados muestran que los precios permiten pronósticos significativamente más precisos que los retornos y pasan la prueba de arbitraje estadístico. Atribuyen este hallazgo a las propiedades de reversión a la media de los precios de las acciones. El alto nivel de precisión del pronóstico utilizando modelos de factores basados en precios tiene importantes implicaciones teóricas y prácticas.

Do, Faff y Hamza (2006) [70] analizan las estrategias existentes en detalle y proponen un enfoque general para modelar la fijación de precios relativa para fines de negociación de pares, con referencia a la teoría general de fijación de precios de activos. Se discuten

y prueban varias técnicas de estimación para la formulación del espacio de estados, y la maximización de expectativas produce resultados estables. La evidencia empírica inicial muestra un claro comportamiento de reversión a la media en los precios relativos de los pares seleccionados.

Burgess (2003) [39] examinó la aplicación del concepto econométrico de cointegración como herramienta de cobertura y negociación de acciones internacionales. Los conceptos se ilustran con respecto a un conjunto particular de datos, a saber, las 50 acciones que constituían el índice STOXX50 al 4 de julio de 2002. Los precios de cierre diarios de estas acciones se investigaron durante un período comprendido entre el 14 de septiembre de 1998 y el 3 de julio de 2002, el período más largo sobre el cual se dispone de datos continuos en todo el conjunto de acciones de este universo en particular. El uso de precios de cierre diarios introducirá algunos efectos espurios debido a los tiempos de cierre no sincronizados de los mercados en los que se negocian estas acciones. Sin embargo, a pesar de esto, los datos se consideran adecuados para ilustrar las herramientas en cuestión y también para indicar los beneficios potenciales que se pueden obtener de la aplicación inteligente de estas herramientas. Consideraron la cointegración como un marco para modelar las interrelaciones entre los precios de las acciones de una manera que puede verse como una forma sofisticada de análisis de "valor relativo". Dependiendo de la tarea particular en cuestión, las técnicas de cointegración se pueden utilizar para identificar posibles coberturas para una posición de renta variable determinada y/o para identificar posibles operaciones que podrían tomarse desde una perspectiva de arbitraje estadístico.

El objetivo del estudio de Haque y Haque (2014) [108] fue desarrollar un modelo de negociación de pares económicamente rentable para la negociación en la Bolsa de Valores de Dhaka. El estudio utilizó los precios de las acciones diarias de una muestra de 20 acciones que cotizan en la Bolsa de Valores de Dhaka. La investigación identificó primero un par de acciones cuyos precios tienen un equilibrio a largo plazo utilizando la prueba de cointegración de Johansen. El par de valores cointegrados se modela luego utilizando un Modelo de corrección de errores vectoriales. El residual obtenido del modelo estimado

sirve como guía para implementar la estrategia de negociación por pares. La investigación finalmente identificó tres pares de acciones que tienen equilibrios generales a largo plazo. Basándose en la serie residual de estos pares, implementamos la estrategia de negociación de pares durante un período de uno a dos meses utilizando datos en tiempo real pero realizando operaciones hipotéticas. Generaba rendimientos significativos para todas las operaciones realizadas utilizando datos tanto dentro como fuera de la muestra. Dado que el mercado de valores de Bangladesh está sujeto con frecuencia a una volatilidad sin precedentes, una estrategia de inversión neutral a mercado como Pairs Trading puede ser una opción valiosa para los inversores minoristas e institucionales. Recomendaron emprender las iniciativas de política necesarias para permitir que los inversores utilicen esta estrategia en Bangladesh.

Liu, Chang y Geman (2017) [153] en su artículo presenta nuevos procesos de reversión doble a la media basados en el modelado condicional de los diferenciales del modelo entre pares de poblaciones. Las estrategias de negociación intradía que utilizan datos de alta frecuencia se proponen en función del modelo. Este marco de modelo y las estrategias están diseñados para capturar las ineficiencias del mercado "local" que son esquivas para las estrategias tradicionales de negociación de pares con datos diarios. Los resultados de las pruebas retrospectivas de datos reales para dos períodos muestran rendimientos notables, incluso teniendo en cuenta los costos de transacción, con índices de Sharpe anualizados de 3.9 y 7.2 durante los períodos de junio de 2013 a abril de 2015 y 2008, respectivamente. Al elegir el sector particular de las compañías petroleras, también confirman la observación de que el precio de las materias primas es el principal impulsor de los precios de las acciones de las empresas productoras de materias primas en momentos de picos en el mercado de materias primas relacionado.

Baronyan, Boduroğlu y Şener (2010) [22] proponen varios sistemas de negociación de acciones neutrales a mercado demostrando que no solo superan a los sistemas existentes, sino que también superan la crisis financiera mundial de 2008 al generar un beneficio anual neto de más del 40 %. En este artículo, utilizaron cuatro tipos de técnicas de selección cuantitativa y sus combinaciones: método de distancia mínima (MDM), prueba ADF, prueba

de causalidad de Granger bidireccional y el método MFR. Plantearon 14 estrategias de negociación neutrales al mercado distintas, utilizando la combinación de siete métodos de negociación y dos métodos de selección de negociación de pares.

Cummins y Bucca (2012) [60] investigaron el comercio cuantitativo en los mercados petroleros durante 2003-2010, con especial atención a WTI, Brent, gasóleo para calefacción y gasóleo. Aplicaron un modelo de negociación de arbitraje estadístico óptimo, con procedimientos escalonados generalizados que controlan el sesgo de datos. Al agregar la reversión a la media hacia arriba y hacia abajo, las estrategias rentables se identifican con índices de Sharpe superiores a 2 en muchos casos. Para las categorías principales, los retornos diarios promedio oscilan entre 0.07 % y 0.55 %, con una duración de operación de 9 a 55 días. En 2008 se observa un colapso en el número de estrategias comerciales rentables. Se examina la solidez a los costos de transacción variables.

Zapart (2003) [254] describe el uso de un esquema de precios de opciones alternativo para realizar arbitraje estadístico en los mercados de derivados. El método vincula un árbol binomial a un modelo innovador de volatilidad estocástica que se basa en ondas y redes neuronales artificiales. Las ondículas proporcionan una conveniente descomposición de la volatilidad por señalización en un espacio de características no lineal. Las redes neuronales se utilizan para inferir niveles de volatilidad futuros a partir del espacio de características de ondículas de manera iterativa. El método bootstrap proporciona intervalos de confianza del 95 % para los precios de las opciones. Cuando se utiliza para establecer operaciones de arbitraje con cobertura delta en el mercado de opciones de acciones de EE. UU., el enfoque propuesto genera ganancias sustanciales.

Thomaidis, Kondakis y Dounias (2006) [232] proponen también una combinación inteligente de teoría de redes neuronales y estadísticas financieras para la detección de oportunidades de arbitraje estadístico en pares específicos de acciones. La metodología inteligente propuesta se basa en una clase de modelos autorregresivos GARCH de redes neuronales para el manejo efectivo de la dinámica relacionada con la mala fijación de precios estadísticos entre los precios relativos de las acciones. El rendimiento del sistema de negociación

inteligente propuesto se mide adecuadamente con la ayuda de diagramas de pérdidas y ganancias, para varios entornos experimentales diferentes (es decir, frecuencias de muestreo). Los primeros resultados parecen alentadores. No obstante, es necesaria una mayor experimentación sobre la frecuencia óptima de muestreo, el horizonte de pronóstico y los puntos de entrada y salida, a fin de lograr el mayor valor económico cuando se tienen en cuenta los costos de transacción.

Jurek y Yang (2007) [123] consideraron que aunque los investigadores han identificado numerosos ejemplos de aparentes violaciones de la eficiencia del mercado en el precio relativo de los activos, por ejemplo fondos cerrados (Malkiel, 1977 [164]), futuros sobre índices bursátiles (Brennan y Schwartz, 1990 [37]), "siamese twin" (Froot y Dabora, 1999 [96]), escisiones de acciones tecnológicas (Lamont y Thaler, 2003 [143]), tesorerías (Cornell y Shapiro, 1989 [57]), y "stubs" (Mitchell y otros, 2002 [176]), se sabe relativamente poco acerca de las estrategias comerciales que los arbitrajistas usarían para explotar de manera óptima estos errores de precio. A diferencia de los arbitrajes de libros de texto, que generan ganancias sin riesgo y no requieren compromisos de capital, explotando los errores de precio del mundo real, requiere la asunción de alguna combinación de riesgo de divergencia y horizontalidad. Estos dos riesgos representan la incertidumbre acerca de si los precios erróneos convergerán antes de que las posiciones deban cerrarse (o reportar beneficios) y la posibilidad de un empeoramiento de los precios erróneos antes de su eliminación. De Long, Shleifer, Summers y Waldmann (1990) [66] y Shleifer y Vishny (1997) [222] fueron los primeros en enfatizar que estos riesgos pueden jugar un papel crucial en limitar el tamaño de las posiciones que los arbitrajistas están dispuestos a tomar, contribuyendo a la persistencia de precios incorrectos en el equilibrio.

Avellaneda y Lee (2010) [13] estudiaron estrategias de arbitraje estadístico impulsadas por modelos en la renta variable de EE. UU. Las señales de negociación se generan de dos formas: utilizando el análisis de componentes principales y utilizando ETF sectoriales. En ambos casos, consideraron los residuos, o componentes idiosincrásicos de los rendimientos de las acciones, y los modelaron como un proceso de reversión a la media, que conduce

naturalmente a señales de negociación «contrarias». La principal contribución del artículo es el back-testing y la comparación del mercado neutral PCA y ETF basadas en estrategias sobre el amplio universo de acciones estadounidenses. Las pruebas retrospectivas muestran que, después de contabilizar los costos de transacción, las estrategias basadas en PCA tienen un índice de Sharpe anual promedio de 1,44 durante el período de 1997 a 2007, con un desempeño mucho más sólido antes de 2003: durante 2003-2007, el índice de Sharpe promedio de PCA es solo de 0.9. Por otro lado, las estrategias basadas en ETF alcanzaron un índice de precisión de 1,1 entre 1997 y 2007, pero experimentaron una degradación similar del rendimiento después de 2002. Introdujeron un método para tener en cuenta la información del volumen de negociación diaria en las señales (utilizando el "tiempo de negociación" en lugar de la hora del calendario) y se observaron mejoras significativas en el rendimiento en el caso de señales basadas en ETF. Las estrategias de ETF que utilizan información sobre el volumen alcanzan un índice de Sharpe de 1,51 de 2003 a 2007. El documento también relaciona el desempeño de las estrategias de arbitraje estadístico de reversión a la media con el ciclo del mercado de valores. En particular, estudiaron con cierto detalle el desempeño de las estrategias durante la crisis de liquidez del verano de 2007, obteniendo resultados que son consistentes con Khandani y Lo (2007) [127].

3.2. El Pairs Trading como modalidad de Arbitraje Estadístico

Göncü y Akyıldırım (2016) [102] menciona que el Pairs Trading se puede considerar como la primera generación de estrategias de arbitraje estadístico que se utilizan para explotar los mercados financieros que están fuera de equilibrio. Esta metodología supone que si bien los mercados pueden no estar en equilibrio, con el tiempo se mueven hacia un equilibrio racional, y el inversionista tiene interés en aprovechar al máximo las desviaciones del equilibrio.

Vidyamurthy (2004) [243] conceptualizó el Pairs Trading como una estrategia de mercado neutral en su forma más primitiva. El autor señala que las carteras neutrales del mercado se construyen utilizando solo dos valores, que consisten en una posición larga y una posición corta. En un momento dado, la cartera se asocia con una cantidad denominada spread, esta cantidad se calcula utilizando los precios cotizados de los dos valores y forma una serie de tiempo. El Pairs Trading implica colocar posiciones en las que el diferencial se revertirá. Luego, las posiciones se invierten tras la convergencia. El autor sostiene que existen dos versiones de pares que operan en los mercados de valores; pares de arbitraje estadístico y pares de arbitraje de riesgo.

La premisa subyacente en los precios relativos es que las acciones con características similares deben tener un precio más o menos igual. Cuanto mayor sea el diferencial, mayor será la magnitud de la fijación de precios y el potencial de ganancias. La estrategia implica asumir una posición larga-corta cuando el diferencial se aleja sustancialmente de la media. Esto se hace con la expectativa de que es probable que el error de precio se corrija por sí solo. Luego, la posición se invierte y se obtienen ganancias cuando el diferencial se revierte. Los términos del acuerdo de fusión establecen una estricta relación de paridad entre los valores de las acciones de las dos empresas involucradas. El diferencial en este caso es la magnitud de la desviación de la relación de paridad definida. Si la fusión entre las dos empresas se considera una certeza, entonces los precios de las acciones de las dos empresas

deben satisfacer la relación de paridad, y la anticipación entre ellas será cero. Sin embargo, generalmente existe un cierto nivel de incertidumbre sobre la finalización exitosa de una fusión después del anuncio, debido a varias razones, como problemas regulatorios antimonopolio, batallas de poderes, licitadores competidores y similares. Esta incertidumbre se refleja en un valor distinto de cero para el diferencial. El arbitraje de riesgo implica asumir esta incertidumbre como riesgo y capturar el valor del diferencial como ganancias. Así, a diferencia del caso de los pares de arbitraje estadístico, que se basa en consideraciones de valoración, el comercio de arbitraje de riesgo se basa estrictamente en una relación de paridad entre los precios de las dos acciones.

Las estrategias de Pairs Trading se estructuran de la siguiente manera: durante el período de formación, se identifican dos valores cuyos precios se han movido juntos históricamente. Estos valores se consideran en equilibrio, que se identifica mediante un modelo propuesto. En un segundo paso, el período de negociación, el diferencial de su movimiento conjunto es monitoreado. Como se supone que existe una relación de equilibrio entre el par, la expectativa es que el diferencial vuelva a la media histórica. En consecuencia, si los precios divergen y el diferencial se amplía entre el par, la estrategia de negociación consistirá en vender en corto las acciones de mejor rendimiento y comprar las de peor rendimiento.

Gatev, Goetzmann y Rouwenhorst (2006) [98] demostraron que la estrategia de Pairs Trading fue capaz de obtener resultados positivos en el mercado estadounidense durante un período de 30 años (1962-1997).

Los investigadores han propuesto diferentes metodologías y técnicas. El artículo pionero de Gatev y otros (2006) [98] introdujeron la metodología más popular, el método de la distancia, utilizado últimamente por Do y Faff (2010, 2012) [71, 72]. En estos trabajos, los autores proponen algoritmos alternativos que incorporan dos criterios adicionales de emparejamiento de pares: homogeneidad de la industria y frecuencia histórica de reversión en el diferencial de precios (además de la métrica de diferencial de precios convencional). La homogeneidad implica la equiparación de valores dentro de los mismos grupos industriales y de grupos definidos de manera estricta para garantizar una sustitución cercana

por clasificación y un menor riesgo de divergencia. Hasta cierto punto, esta métrica puede verse como un primer paso hacia la incorporación de un aspecto fundamental en el Pairs Trading, que tradicionalmente es un concepto técnico. La frecuencia de reversión, calculada como el número de cruces por cero por el diferencial de precios normalizado, mide la frecuencia con la que dos valores se cruzaron en el pasado. Un alto número de cruces por cero significa un «historial» de frecuentes errores de precio dentro de un par que fueron corregidos con éxito por los participantes del mercado. Cuando se combina con las métricas de SSD (Sum of Squared Difference) y homogeneidad, se ha descubierto que esta medida de historial mejora considerablemente las ganancias comerciales, en 22 pb al mes para las acciones bancarias. También encontraron que la estrategia tuvo un desempeño particularmente fuerte durante los períodos de turbulencia prolongada, el mercado bajista de 2000-2002 y la crisis financiera mundial de 2007-2009. Aunque este hallazgo parece contrario a la intuición, el aumento de los riesgos de arbitraje durante estos períodos de pánico se vio compensado por una disminución correspondiente en la eficiencia del mercado. Por lo tanto, algunos arbitrajistas han superado el empeoramiento de los riesgos de arbitraje para aprovechar con éxito los precios incorrectos que parecen ser abundantes en períodos tan turbulentos.

Chen y otro (2019) [52] también utilizaron esta metodología, pero introdujeron la correlación de Pearson en el nivel de rendimiento para identificar pares y construir una métrica empírica para cuantificar la divergencia de retorno del par.

Vidyamurthy [243] introdujo el enfoque de cointegración. Este enfoque tiene un mayor potencial de identificar verdaderas relaciones de equilibrio a largo plazo entre activos. Lin, McCrae y Gulati (2006) [151] introdujeron una mínima condición de beneficio para un par de valores que se cointegra en un horizonte temporal. Más tarde, Puspaningrum, Lin y Gulati (2010) [197] ajustaron un proceso AR (1) al margen de dos acciones cointegradas. Los autores propusieron un enfoque de ecuación integral para evaluar numéricamente el número estimado de operaciones para cualquier operación determinada umbral o beneficio mínimo por operación para optimizar el beneficio total.

Law, Li y Philip (2018) [144] presentaron una implementación alternativa del enfoque de cointegración mediante la introducción de una estadística que combina la maximización del rendimiento y la minimización de riesgos simultáneamente.

Dunis y Ho (2005) [73] introdujeron el enfoque de cointegración multivariante. Los autores utilizaron el concepto de cointegración que se basa en la relación a largo plazo entre las series de tiempo y los activos, para diseñar carteras cuantitativas de acciones. Galenko, Popova y Popova (2012) [97] utilizaron un marco de cointegración multivariante mediante la realización de una extensa minería de datos. Los autores utilizaron diferentes frecuencias y también tomaron distintas duraciones del período de formación para estimar el vector de cointegración.

De igual manera, el trabajo reciente de Yiyun y Law (2021) [146] propusieron la parametrización dinámica (ADF-umbral, umbral de ASR ajustado y coeficientes de cointegración condicional) para adaptarse a diferentes condiciones de mercados.

Liu y Timmermann (2013) [152] sostienen que al utilizar la cointegración para modelar los precios de los activos en las operaciones de convergencia, se obtienen estrategias de cartera óptimas. Para el proceso de cointegración estándar con oportunidades de arbitraje recurrentes, las posiciones óptimas de la cartera se pueden caracterizar en forma cerrada. Para la suspensión del proceso de cointegración con oportunidades de arbitraje no recurrentes, se obtienen óptimas carteras numéricamente. Este segundo caso puede dar lugar a soluciones muy diferentes para la tenencia óptima de la cartera y la utilidad esperada. Los autores compararon las soluciones óptimas con aquellas logradas bajo estrategias de negociación convencionales restringidas a ser neutrales delta y mostraron que se pueden lograr ganancias considerables en la utilidad esperada. El análisis considera las acciones de un fondo sin restricciones. En realidad, las operaciones de los fondos están restringidas de manera importante, lo que refleja los límites de endeudamiento, las restricciones regulatorias y otras imperfecciones del mercado. Quizás la limitación más importante surge del riesgo de financiación, que se produce cuando una operación debe cerrarse antes de tiempo debido a la falta de financiación. Además, es probable que dicho riesgo de financiación sea mayor

en los estados del mundo en mal estado y, por lo tanto, bien podría estar correlacionado con las oportunidades de arbitraje analizadas.

Elliott, Van Der Hoek y Malcolm (2005) [76] describieron al pair trading como una estrategia de inversión utilizada por muchos fondos de cobertura. Consideraron dos acciones similares que se negocian con algún margen. Si el diferencial se ensancha, corta la acción alta y compra la acción baja. A medida que el diferencial se reduce de nuevo a algún valor de equilibrio, se obtiene una ganancia. En su trabajo de investigación proporcionaron un marco analítico para dicha estrategia de inversión. Propusieron un modelo de cadena de Markov gaussiana de reversión a la media para la dispersión que se observa en ruido gaussiano. Las predicciones del modelo calibrado se compararon luego con las observaciones posteriores del diferencial para determinar las decisiones de inversión adecuadas. La metodología tiene aplicaciones potenciales para generar riqueza a partir de cualquier cantidad en los mercados financieros que se observe fuera de equilibrio. Do y otros (2006) [70] emplearon métodos de fijación de precios teóricos en el rendimiento en lugar del nivel de precios y Jurek y Yang (2007) [123] aplicaron el enfoque de control estocástico. Bertram (2010) [29] y Cummins y Bucca (2012) [60] asumieron que la dispersión sigue un proceso de Ornstein-Uhlenbeck simétrico de media cero. Bock y Mestel (2009) [32] utilizaron un modelo de conmutación de Markov para desarrollar un modelo de Pairs Trading, Chen, Chen y Chen (2014) [51] construyeron una estrategia Pairs Trading con modelos autorregresivos de umbral de tres regímenes con efectos GARCH y Göncü y Akyildirim (2016) [102] introdujeron un proceso de Ornstein-Uhlenbeck para la dispersión de los diferentes activos.

Jurek y Yang (2007) [123] en su artículo utilizaron el método de control estocástico. En su trabajo, los autores derivaron la estrategia dinámica óptima para los arbitrajistas con un horizonte finito y preferencias no miopes que enfrentan una oportunidad de arbitraje con reversión a la media (por ejemplo, una operación de pares de acciones). Encontraron que las demandas de cobertura intertemporal juegan un papel importante en la determinación de la agresividad con que los arbitrajistas comercian contra la fijación de precios erróneos y representan una gran fracción de la asignación total a la oportunidad de arbitraje. Si bien

los arbitrajistas suelen apostar contra la fijación de precios erróneos, los autores mostraron analíticamente que existe un nivel crítico de fijación de precios más allá del cual una mayor divergencia precipita una reducción en la asignación. Cuando se aplica a las acciones de los " *siamese twin* ", la estrategia que consideran óptima ofrece una mejora significativa en el ratio de Sharpe. Siguiendo esta línea, Liu y Timmermann (2013) [152] obtuvieron una óptima cartera de inversiones para operaciones de convergencia bajo diversas oportunidades de arbitraje. La cartera incorpora la oportunidad de arbitraje y los beneficios de la diversificación. Huck (2009; 2010) [115, 116] propuso una metodología de tres etapas: previsión, clasificación y comercio mediante la construcción y combinación de redes neuronales artificiales y un método de decisión multicriterio.

Considerando la asimetría negativa de los retornos y el exceso de curtosis, las contribuciones recientes se basan en enfoques de Cópulas. Ferreira (2008) [89], Liew y Wu (2013) [148], Stander, Marais y Botha (2013) [227], Xie y Wu [250], Krauss y Stubinger (2017) [134] o Rad, Low y Faff [198] son los trabajos más representativos de los métodos cópula basados en enfoques paramétricos y no paramétricos. Sin embargo, solo Krauss y Stubinger (2017) [134] utilizaron un método de cópula para la selección y negociación de pares. El resto de trabajos utilizaron la distancia o el enfoque de cointegración para la selección de pares.

Krauss (2017) [135] examinó la literatura del Pair Trading. Su investigación se clasifica en cinco grupos: El enfoque de distancia utiliza métricas de distancia no paramétricas para identificar oportunidades comerciales de pares. El enfoque de cointegración se basa en pruebas formales de cointegración para revelar series de tiempo de dispersión estacionarias. El enfoque de series de tiempo se centra en encontrar reglas de negociación óptimas para los diferenciales de reversión a la media. La categoría "otros enfoques" contiene más marcos de negociación de pares relevantes con solo un conjunto limitado de literatura de apoyo. Finalmente, la rentabilidad de la negociación de pares se revisa a la luz de las fricciones del mercado. A partir de un amplio conjunto de investigaciones que consta de más de 100 referencias, se realiza una evaluación en profundidad de cada enfoque, que finalmente revela las

fortalezas y debilidades relevantes para futuras investigaciones y para la implementación.

En cuanto a la rentabilidad de las estrategias, destacamos varios trabajos. En primer lugar, Perlin (2009) [192] verificó el desempeño y riesgo de la negociación de pares en el mercado financiero brasileño para diferentes frecuencias de la base de datos: precios diarios, semanales y mensuales para el mismo período de tiempo. La principal conclusión de esta simulación es que la estrategia de negociación de pares fue una estrategia rentable y neutral en el mercado brasileño. Dicha rentabilidad fue consistente en una región de los parámetros de la estrategia. Los mejores resultados se encontraron para la frecuencia más alta (diaria), que es un resultado intuitivo.

Huck y Afawubo (2015) [117], al igual que Do y Faff (2010, 2012) [71] [72] muestran que el pairs trading sigue siendo una estrategia rentable de arbitraje estadístico. Huck y Afawubo (2015) [117] utilizando los componentes del índice S&P 500, exploraron el desempeño de un sistema de negociación por pares basado en varios métodos de selección de pares. Mientras que las grandes aplicaciones empíricas en la literatura se centran en el método de la distancia, este artículo también trata de técnicas estadísticas y econométricas conocidas, como la estacionariedad y la cointegración, que hacen que el sistema de comercio sea mucho más exigente desde el punto de vista computacional. Las operaciones se inician cuando las acciones se desvían de su equilibrio. Los resultados confirman, después de controlar el riesgo y los costos de transacción, que el método de distancia genera un exceso de rentabilidad insignificante. Si bien una selección de pares siguiendo el criterio de estacionariedad conduce a un desempeño débil, este artículo revela que la cointegración proporciona un retorno alto, estable y robusto.

Posteriormente, Rad y otros (2016) [198] realizaron un estudio extenso y robusto del desempeño de tres estrategias de negociación de pares diferentes (los métodos de distancia, cointegración y cópula) en todo el mercado de valores de EE. UU., desde 1962 hasta 2014, con costos de negociación variables en el tiempo. Para los métodos de cointegración y cópula, diseñaron una estrategia de negociación de pares de dos pasos computacionalmente eficiente. En términos de resultados económicos, los métodos de distancia, cointegración y

cópula muestran un exceso de rendimiento mensual medio de 91, 85 y 43 pb (38, 33 y 5 pb) antes de los costos de transacción (después de los costos de transacción), respectivamente. En términos de rentabilidad continua, a partir de 2009, la frecuencia de oportunidades comerciales a través de los métodos de distancia y cointegración se reduce considerablemente, mientras que esta frecuencia permanece estable para el método de cópula. Si bien el factor de liquidez se correlaciona negativamente con los rendimientos de todas las estrategias, no encontraron evidencia de su correlación con los rendimientos excesivos del mercado. Todas las estrategias muestran una fase positiva y significativa después de tener en cuenta varios factores de riesgo. Además de que todas las estrategias funcionan mejor durante períodos de volatilidad significativa, el método de cointegración es la estrategia superior durante las condiciones de mercado turbulentas.

Recientemente, Zhang y Urquhart (2019) [253] motivados por la justificación de que la ineficiencia del mercado surge de una combinación de una demanda que no es completamente racional y limita el arbitraje, investigaron la rentabilidad del Pairs Trading en China continental y Hong Kong con acciones de gran capitalización y capitalización media, altamente líquidas desde enero de 1996 hasta julio 2017. Encontrando tres hallazgos principales. Primero, que el Pair Trading restringido dentro de cada mercado no genera retornos anormales significativos. Sin embargo, si los inversores pueden comerciar en China continental y Hong Kong, el Pairs Trading es rentable después de ajustar el riesgo y los costos de transacción, donde el rendimiento anormal anualizado es del 9% sobre la muestra completa. En segundo lugar, al usar una regresión de ventana móvil, encontraron que la rentabilidad de la estrategia varía en el tiempo. Las simulaciones de bootstrap sugieren que la disminución de la rentabilidad desde el 2012 se debe a la posibilidad aleatoria en lugar de la poca capacidad de identificar acciones con precios incorrectos. Sin embargo, la mayoría de los períodos rentables reflejan la capacidad de la estrategia de elegir acciones rentables en lugar de una posibilidad aleatoria. Tercero, la rentabilidad de la estrategia es algo sensible a las condiciones del mercado, más notablemente, la estrategia es más rentable durante las turbulencias del mercado a largo plazo. En general, los hallazgos empíricos son

consistentes con la Hipótesis Adaptativa del Mercado en que la integración de los mercados financieros y las condiciones del mercado determinan el nivel de eficiencia del mercado.

Capítulo 4

Arbitraje estadístico basado en el Exponente de Hurst

El contenido de este capítulo ha sido en gran medida publicado por Sánchez y otros (2020) [214] y Balladares y otros (2021) [17].

4.1. El Exponente de Hurst y su aplicación en el ámbito de las finanzas

El método del exponente de Hurst fue desarrollado originalmente para estudios hidrológicos. Harold Edwin Hurst (1951) [118], como Director General del Departamento de Física, era responsable, entre otras cosas, del estudio de las propiedades hidrológicas de la cuenca del Nilo, por lo que se encargó de idear un método de control del agua tomando una visión holística de la cuenca del Nilo. De acuerdo con Sánchez, Trinidad y García (2008) [210], Hurst creó una metodología estadística para determinar si las tendencias de la serie de tiempo tienen o no persistencia después de determinar la duración de ciclos de las series de tiempo y establecer si una serie de tiempo es fractal, o si dicha serie de tiempo tiene "memoria de largo plazo", es decir si eventos de un periodo influyen en todos los siguientes.

Desde entonces, la ciencia ha mostrado gran interés por los procesos con memoria, y la aplicación del exponente de Hurst se ha generalizado a casi todas las ramas del conocimiento. En lo que concierne a economía, captaron el interés de los investigadores durante los años setenta y un ejemplo son los trabajos de Mandelbrot (1971, 1972) [169, 170], pero con posterioridad las aplicaciones se han extendido desde la macroeconomía hasta las finanzas (ejemplos son Diebold y Rudebusch, 1989 [68], Hassler, 1994 [110], Hassler y Wolters, 1995 [111], Conniffe y Spencer, 2000 [55]).

El interés que para las finanzas tienen los procesos de memoria es que han sido considerados por muchos una alternativa válida para probar de una manera relativamente simple, la Hipótesis de Mercado Eficiente, tal y como se ha comentado en el capítulo 2. En términos generales, si un determinado título presenta memoria a largo plazo se po-

dría decir que presenta un comportamiento cíclico y por consiguiente no sigue un proceso aleatorio, lo que confrontaría directamente con la hipótesis de eficiencia. Resultan de interés los trabajos de Mandelbrot (1997) [167], Trinidad, Fernandez y Sanchez, (2012) [234], Sanchez, Fernández y Trinidad (2012) [212], Sánchez y otros (2008) [210], Sánchez, Trinidad, García, Fernández (2015) [213], Backus (1993) [15], Baillie (1996) [16], Couillard y Davison (2005) [58], Peters (1996) [193], Shea (1991) [218], Cromwell, Labys y Kouassi (2000) [59], Weron, Przybylowicz y Owicz (2000) [245], Lux (2010) [160], Willinger, Taqqu y Teverosvsky, V(1999) [248].

El exponente de Hurst, en la geometría fractal, ha sido definido por H o por H_q . De acuerdo con Kleinow (2002) [132], el exponente cuantifica la tendencia relativa de una serie temporal a regresar fuertemente a la media o agruparse en una dirección. Un valor H en el rango de $0,5 - 1$ indica una serie de tiempo con autocorrelación positiva a largo plazo, lo que significa que un valor alto en la serie probablemente será seguido por otro alto valor y que los valores durante un periodo de tiempo tenderán a ser altos. Un valor en el rango $0 - 0,5$ indica una serie de tiempo con conmutación a largo plazo entre valores altos y bajos en pares adyacentes, lo que significa que un único valor alto probablemente será seguido por un valor bajo y que el valor después tenderá a ser alto, con tendencia a cambiar entre valores altos y bajos a lo largo del tiempo.

Dentro de las diferentes metodologías desarrolladas para obtener un valor numérico de este exponente, la más popular es el análisis R/S, desarrollado por Mandelbrot y Wallis en 1969 [168]. No obstante, y prácticamente ya desde su nacimiento, autores como Lo (1989) [156], y más recientemente autores como Weron (2002) [244] o Sánchez y otros (2008) [210], han puesto de manifiesto que el valor resultante para el exponente cuando la longitud de la serie temporal es demasiado corta está muy lejos de ser el adecuado, acentuándose el problema en el caso de series financieras.

Por ello, una de las líneas de investigación clásica consiste en el depurado y mejora de las técnicas de estimación del exponente de Hurst, ya sea mejorando el análisis R/S como lo mencionan, Lo (1989) [156] y Weron (2002) [244] o mediante el desarrollo de metodo-

logías nuevas, entre las que podemos citar el Método Semiparamétrico de Hudaks (GPH) propuesto por Gewek y Porther-Judak (1983) [100], el análisis Quasi Máximo Verosimilitud (QML) desarrollado por Haslett y Raftery (1989) [109], el método del Periodograma según Taqqu, Teverovsky y Willinger (1995) [231]), la metodología wavelets, como lo indica Veitch y Abry (1999) [242], el método de la media móvil centrada (CMA) planteada por Alessio, Carbone, Castelli y Frappietro (2002) [7]), las metodologías MF-DFA observada por Kantelhardt, Zschiegner, Koscielny-Bude, Havlin, Bunde y Stanley (2002) [126], el exponente de Lyapunov como lo señala Bensaïda (2014) [27] y Das (2006) [62], los métodos basados en procedimientos geométricos (GM) como afirma Sánchez y otros (2012) [212], y más recientemente el algoritmo de dimensión fractal (FD) desarrollado por Fernández, Sánchez y Trinidad (2013) [85].

De gran interés es el trabajo desarrollado por Sánchez, Trinidad y García (2008) [103]. En este artículo, los autores realizaron una revisión de la metodología más utilizada hasta el momento en investigaciones respecto a los procesos de memoria a largo plazo, que son el exponente de Hurst y el análisis de rango reescalado (R/S analysis). Propusieron dos métodos, desde el punto de vista de la geometría, para calcular el exponente de Hurst, demostrando que la simple utilización de estas técnicas puede llevar a la obtención de conclusiones equivocadas, especialmente cuando se trata de series de tiempo cortas. Estos autores ponen de manifiesto en trabajos posteriores la importancia de profundizar en el análisis del proceso subyacente (Fernández y otros, 2014 [86] y Fernández y otros, 2013 [85]), poniendo de manifiesto que en distribuciones de colas pesadas los algoritmos clásicos utilizados para el análisis de eficiencia pueden generar sesgos importantes y atribuir memoria a procesos aleatorios.

También hay algunas aplicaciones novedosas, como la desarrollada en Trinidad, Fernández y Sánchez (2019) [235] donde los autores proporcionan una metodología novedosa que permite la detección de grupos de volatilidad en series de rendimientos de activos. Con este objetivo, se introduce el concepto de serie de volatilidad. Encontramos que la existencia de clusters de alta/baja volatilidad en la serie conduce a un exponente de Hurst creciente de

la serie de volatilidad. Se llevaron a cabo algunas aplicaciones empíricas. De hecho, se generan procesos artificialmente con clusters de volatilidad. Los exponentes de auto-semejanza (media) de sus series de volatilidad se compararon con los de un movimiento browniano y el índice S&P 500. Como resultado, cuanto mayor sea el número de períodos utilizados en el cálculo del exponente de autosemejanza, más suave será la gráfica de la serie de volatilidad y, por lo tanto, mayor será su exponente. En consecuencia, es más probable que aparezcan los grupos de volatilidad. También realizaron un estudio dinámico sobre la evolución del índice de autosemejanza de la serie de volatilidad del S&P 500. Se observó que cuanto mayor es su exponente de auto-similitud, más frecuentes son los cambios de volatilidad (que suelen corresponder a caídas en el índice), y por tanto, más probable que aparezcan los clusters de volatilidad.

4.2. Métodos para el cálculo del Exponente de Hurst

El Exponente de Hurst Generalizado (GHE)

Uno de los métodos más populares para el cálculo del exponente de Hurst es el conocido como GHE, que fue desarrollado por Barabasi y Vicsek (1991) [18]. Es una generalización del enfoque clásico proporcionado por Hurst [118] y se relaciona con el comportamiento de escala de algunas propiedades estadísticas de una serie temporal. Se considera una potente herramienta para detectar la multifractalidad mediante el escalamiento de momentos de orden q de la distribución de los incrementos. Dicha propiedad de escalamiento está determinada por un exponente H_{GHE} que normalmente está conectado con la dependencia estadística a largo plazo de la serie temporal.

En particular, se ha verificado que estas propiedades estadísticas de las series temporales, escalan tanto con el periodo de observación (T) como con la resolución de la *ventana* de tiempo. Para ello, se considera el siguiente estadístico,

$$K_q(\tau) = \frac{\langle |X(t+\tau) - X(t)|^q \rangle}{\langle |X(t)|^q \rangle} \quad (4.2.1)$$

donde, τ puede variar entre 1 y τ_{max} , y τ_{max} se elige generalmente como un cuarto de la longitud de la serie, y $\langle \cdot \rangle$ describe el promedio de la muestra durante la *ventana* de tiempo. Por lo tanto, el GHE se define a partir del comportamiento a escala del estadístico $K_q(\tau)$, dada por la *Ley de Potencias*:

$$K_q(\tau) \propto \tau^{qH(q)}. \quad (4.2.2)$$

Donde $H(q)$ es el exponente de Hurst, que caracteriza la escala de la ley de potencias. El GHE se calcula mediante regresión lineal después de tomar logaritmos en la ecuación 4.2.2 para diferentes valores de τ (Di Matteo, Aste y Dacorogna, 2005 [67], Barunik y Kristoufek, 2010 [24]). Tal y como se indica en Fernández y otros (2013) [85], el GHE es un algoritmo que tiene una serie de ventajas respecto a otros aportados por la literatura. En primer lugar es fácil de calcular y es preciso con series financieras, en particular, el GHE se puede utilizar con series cortas, mientras que otros métodos populares para calcular el exponente de Hurst, tal y como hemos comentado antes, no funcionan bien en series financieras debido a la longitud de las mismas.

Algoritmos FD

Los algoritmos FD desarrollados por Sánchez y otros (2012) [212], se fundamentan en el concepto de dimensión fractal de una curva, previamente definido por Fernández y Sánchez (2012) [87]. Los autores consideran la dimensión fractal como una generalización del Exponente de Hurst, cuya principal ventaja es que se puede calcular para una gama más amplia de movimientos y no necesariamente Brownianos. Los autores definen cuatro versiones del algoritmo FD, apareciendo las tres primeras en Sánchez y otros (2012) [212] y la última versión en Fernández y otros (2014) [86], donde también se hace una reenfoque

de los anteriores algoritmos FD. De esta forma, los autores indican que los algoritmos FD se calculan como sigue:

Denotemos por X a una variable aleatoria cuyo momento absoluto de orden q se define como $m_q(X) = E[|X|^q]$ y para cada $q > 0$ se puede obtener un valor esperado.

Así, sea \mathbf{X} un proceso aleatorio con incrementos estacionarios y supongamos que existe un parámetro $H > 0$ tal que se cumple que $M(T, \omega) \sim T^H M(1, \omega)$, donde $M(\mathcal{T}, \omega)$ denota el rango acumulado de periodo \mathcal{T} .

De forma que si tomamos q -potencias en la ecuación anterior, entonces tenemos que:

$$M(T, \omega)^q \sim T^{qH} M(1, \omega)^q, \quad (4.2.3)$$

para cada $q > 0$.

Vamos a considerar $T_n = 1/2^n$ como una discretización razonable del periodo de tiempo T para todo $n \in \mathbb{N}$. De esta forma

$$M(T_n, \omega)^q \sim T_n^{qH} M(1, \omega)^q,$$

para todo $q > 0$ y todo $n \in \mathbb{N}$, de acuerdo a la ecuación (4.2.3). Así, si denotamos por X_n el rango acumulado del T_n -periodo del proceso aleatorio \mathbf{X} , denominado, $X_n = M(T_n, \omega) = M(1/2^n, \omega)$ para todo $n \in \mathbb{N}$, entonces tenemos que $X_n^q \sim T_n^{qH} X_0^q$ para todo $n \in \mathbb{N}$ y todo $q > 0$. De esta forma, tenemos la siguiente relación entre las q -potencias de los periodos consecutivos de los rangos acumulados de \mathbf{X} : $X_n^q \sim 2^{qH} X_{n+1}^q$.

Además, supuesto que las dos variables aleatorias precedentes tienen la misma función de distribución conjunta y finita, entonces sus medias deben de ser iguales, es decir, $E[X_n^q] = 2^{qH} E[X_{n+1}^q]$, lo cual nos lleva a la siguiente expresión:

$$m_q(X_n) = 2^{qH} m_q(X_{n+1}), \quad (4.2.4)$$

que relaciona los momentos absolutos de orden q consecutivos, para todo $n \in \mathbb{N}$ y todo $q > 0$.

Téngase en cuenta que la ecuación (4.2.4) es equivalente a la siguiente:

$$m_q(X_n) = \frac{1}{2^{nqH}} m_q(X_0). \quad (4.2.5)$$

Por tanto, es suficiente con tomar logaritmos de base 2 en ambos lados de la ecuación (4.2.4) para obtener la siguiente expresión:

$$\log_2 \left(\frac{m_q(X_n)}{m_q(X_{n+1})} \right) = qH, \quad (4.2.6)$$

donde se establece la relación lineal entre $\log_2 \left(\frac{m_q(X_n)}{m_q(X_{n+1})} \right)$ y q , dado que $m_q(X_n)$ existe para todo $n \in \mathbb{N}$. El índice de autosimilaridad H del proceso aleatorio \mathbf{X} podría ser estimado claramente mediante la ecuación (4.2.6) como $H = \frac{1}{q} \log_2 \left(\frac{m_q(X_n)}{m_q(X_{n+1})} \right)$. De esta forma, se denota por *FD* a esta aproximación genérica (para cada $q > 0$) para el cálculo del exponente de autosimilaridad de un proceso aleatorio \mathbf{X} .

Una aplicación interesante de este algoritmo es la desarrollada por Trinidad, Fernández y Sánchez (2019) [235] y Nikolova, Trinidad, Fernández y Sánchez (2020) [182], donde se proporciona una metodología para calcular la probabilidad de clústeres de volatilidad con especial énfasis en las criptomonedas. Se describe un criterio explícito para determinar computacionalmente si existen conglomerados de volatilidad de un tamaño fijo. Encontrando que las probabilidades de grupos de volatilidad de un índice (S&P 500) y una acción (Apple) mostraron un perfil similar, mientras que la probabilidad de grupos de volatilidad de un par de divisas (Euro / USD) se volvió bastante menor. Por otro lado, apareció un perfil similar para las criptomonedas Bitcoin / USD, Ethereum / USD y Ripple / USD, con probabilidades de que los clústeres de volatilidad de todas estas criptomonedas fueran mucho mayores que las de los tres activos tradicionales. Los resultados sugieren que la volatilidad en las criptomonedas cambia más rápido que en los activos tradicionales y mucho

más rápido que en los pares de divisas.

4.3. Desarrollo del modelo de arbitraje

El modelo de arbitraje desarrollado en esta tesis está basado en la idea introducida por Ramos y otros (2017) [199] y que se basa en el cálculo del exponente de Hurst de cada par de acciones. El enfoque se inspira en los conceptos clásicos de cointegración y reversión a la media pero unidos bajo una estrategia única. En este trabajo, los autores muestran como este enfoque presenta mejores resultados que el método de distancia clásico y las estrategias de correlación en diferentes escenarios. Los resultados obtenidos demuestran que esta nueva metodología es consistente y adecuada al reducir la salida de la negociación sobre las clásicas obteniendo como resultado un mejor desempeño.

Sobre esta base, en una contribución más reciente, los autores Ramos, Trinidad y Sánchez (2020) [200] presentan un nuevo método llamado HP para medir el co-movimiento entre dos series de tiempo. Este método, basado en el exponente de Hurst de la serie de productos, está diseñado para detectar correlaciones, incluso si la relación es débil, pero también funciona bien con cointegración, así como con correlaciones no lineales o relaciones más complejas dadas por una cópula. Este método así como sus diferentes variaciones es capaz de detectar la relación entre activos mejor que el método de correlación tradicional en distintos escenarios de arbitraje. Los autores Ramos y otros (2020) [201] continuando con su investigación introducen diferentes modelos para calcular la cantidad de dinero que debe asignarse a cada acción. La estrategia de asignación tradicional se basa en una metodología de ponderación equitativa. Sin embargo, muestran cómo, con una asignación óptima, el rendimiento de la estrategia de Pairs Trading aumenta significativamente. Proponen cuatro metodologías para configurar la asignación óptima. Estas metodologías se basan en distancia, correlación, cointegración y exponente de Hurst (reversión a la media). Demuestran que las nuevas metodologías aportan una mejora en los resultados obtenidos con respecto a una estrategia de igual ponderación.

En cuanto a la metodología de negociación utilizada en este trabajo de investigación, se desarrolla de la siguiente manera:

En primer lugar, normalizamos los precios de las acciones. Si consideramos acciones A y B , y los precios de estas acciones son P_A y P_B respectivamente, la serie del par AB se calculará de la siguiente manera:

$$\log(P_A) - b * \log(P_B)$$

Donde b es una constante, que se utiliza para normalizar los precios de las acciones. Como se ha comentado anteriormente, Ramos-Requena y otros (2020) [201] muestran varias formas de elección de esta constante b . La estrategia más sencilla que usaremos, y a la vez, la más utilizada en la literatura, será una elección de $b = 1$, dedicando la misma proporción del presupuesto a cada una de las acciones del par.

La otra estrategia para calcular b que utilizaremos será la elección del valor de b que minimiza la distancia entre las dos acciones, más concretamente, elegiremos el valor b que minimiza la función $f(b) = \sum_t |\log(\frac{p_A(t)}{p_A(0)}) - b \log(\frac{p_B(t)}{p_B(0)})|$. Una vez que el valor de b se obtiene, los valores del precio de las acciones A y B están normalizados.

Una vez formado el par, podemos abrir y cerrar posiciones en el par de la siguiente forma. Si T es la cantidad total para invertir en el par AB , si invertimos x en la acción A , invertiremos bx en la acción B , de modo que $x + bx = T$, de donde $x = \frac{T}{1+b}$ es la cantidad a invertir en la acción A y $bx = \frac{bT}{1+b}$ es la cantidad a invertir en la acción B . Por lo tanto, cuando compramos el par, lo que queremos decir es que compramos $\frac{T}{1+b}$ de la acción A y vendemos en corto $\frac{bT}{1+b}$ de la acción B . Similarmente, cuando vendemos el par, lo que queremos decir es que vendemos en corto $\frac{T}{1+b}$ de la acción A y compramos $\frac{bT}{1+b}$ de la acción B .

La estrategia de pares se desarrolla en dos fases: una primera fase de selección de pares y una segunda fase de ejecución. En la primera fase, se seleccionan los pares que se usaran

en la estrategia de pares, utilizando los datos del año anterior al momento de selección. Los pares que se seleccionan se corresponden con aquellos pares de acciones que estén más relacionados, según diversos criterios que consideraremos a continuación. En la segunda fase, se desarrolla la estrategia comercial con los pares seleccionados en la primera fase durante los siguientes 6 meses. Por lo tanto, cada 6 meses se seleccionan los pares, que se mantienen fijos durante los próximos 6 meses. La estrategia que se usa se corresponde con una estrategia de reversión a la media, que es lo que se espera de los pares seleccionados en la fase uno.

4.3.1. Selección de pares

En la fase de selección de pares, se buscan dos acciones que estén fuertemente relacionadas, esperando que esta relación se mantenga en el tiempo, lo que significa que la serie del par tendrá propiedades de reversión a la media. En este trabajo consideraremos cuatro estrategias para la selección de los pares.

Exponente de Hurst. En esta estrategia (propuesta por Ramos-Requena y otros (2017) [199]) se buscan los pares tales que el exponente de Hurst, calculado utilizando el enfoque de Exponente de Hurst Generalizado (GHE) 4.2, de la serie del par sea lo menor posible, ya que de esta forma se espera que la serie del par sea lo más anti-persistente posible y así presente propiedades fuertes de reversión a la media.

Distancia. El enfoque de la distancia es el más utilizado, ya que es bastante sencillo. Los principales autores que lo han utilizado han sido Gatev y otros (2006) [98] y Perlin (2009) [192]. Huck (2015) [117] exploraron el desempeño de la estrategia Pairs Trading basándose en varios criterios de selección de pares, utilizando el índice S&P 500. Esta metodología se basa en minimizar la suma de diferencias al cuadrado entre las series de precios normalizadas.

$$EDD = \sum_t (S_A(t) - S_B(t))^2$$

Donde, $S_A(t) = \log(\frac{P_A(t)}{P_A(0)})$ es el precio normalizado de la acción A en el momento t y $S_B(t) = \log(\frac{P_B(t)}{P_B(0)})$ es el precio normalizado de la acción B en el momento t .

Correlación. El método de correlación se calcula utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. La correlación ρ de las acciones A y B viene dada por la expresión:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A}_i)(B_i - \bar{B}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A}_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B}_i)^2}} \quad (4.3.1)$$

Donde \bar{A}_i y \bar{B}_i son la media de los rendimientos de las acciones A y B respectivamente, mientras que A_i y B_i son los rendimientos de las acciones. A lo largo de este documento, los retornos siempre significarán retornos logarítmicos ($A_i = \log(\frac{P_A(i)}{P_A(i-1)})$).

Cointegración. La cointegración fue introducida por Engle y Granger (1987) [77]. Vidyamurthy (2004) [243] en su estudio utiliza la cointegración para la estrategia Pairs Trading. En 2002, Alexander y Dimitriu (2002) [8] aplicaron la estrategia Pairs Trading al Promedio Industrial Dow Jones, presentando resultados muy alentadores, con retornos robustos, baja volatilidad y correlación de mercado insignificante. Caldeira y Moura (2013) [42] probaron con éxito la estrategia en el mercado brasileño. Dunis, Giorgioni, Laws y Rudy (2010) [74] es otro ejemplo en el que se utiliza la cointegración para definir los pares que se negociarán bajo una perspectiva de alta frecuencia.

Un modelo para un par cointegrado de dos acciones, A y B , se obtiene de la siguiente manera: se supone que los precios de ambas acciones son individualmente no estacionarios y existe un parámetro γ tal que la siguiente ecuación es un proceso estacionario.

$$P_A(t) - \gamma P_B(t) = \mu + e(t)$$

Donde μ es la media de la cointegración, $e(t)$ es un proceso estacionario de reversión a

la media y se denomina residual de cointegración, residual de regresión o residual para abreviar. El parámetro γ se conoce como coeficiente de cointegración. Los parámetros de regresión se estiman utilizando un método de mínimos cuadrados ordinarios.

4.3.2. Estrategia comercial

Finalmente, se desarrollará la estrategia comercial para cada uno de los pares seleccionados. Dado un par, se trata de una estrategia sencilla de reversión a la media del par. Para ello, se monitorea la serie del par y se abre una operación cuando el par se desvía de su media. Posteriormente, se cierra la operación cuando el par vuelve a la media, es decir, una vez se ha producido la reversión a la media. También se cierra la operación si la serie del par se desvía mucho de la media, ya que esto puede ser debido a que se haya roto la relación entre las dos acciones, debido a algún evento puntual, que haya podido afectar a una de las acciones, pero no a la otra.

Siendo s la serie del par, m el promedio de la serie s y σ la desviación estándar de $m - s$ [88]:

- Si $m + \sigma < s < m + 2\sigma$ el par se venderá a s_0 . La posición se cerrará cuando $s < m$ o $s > s_0 + \sigma$.
- Si $m - 2\sigma < s < m - \sigma$ el par se comprará en s_0 . La posición se cerrará cuando $s > m$ o $s < s_0 - \sigma$.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Resultados Empíricos

En esta sección, y en la línea de los trabajos previos desarrollados por autores como Beben y Orłowski, (2001) [25], Di Matteo, Aste y Dacorogna (2005) [67], Zunino, Tabak, Pérez, Garavaglia y Rosso (2007), Cajueiro y Tabak (2005) [41], Lim (2007) [150] o Ferreira, Dionísi y Correia (2018) [91], proponemos probar diferentes modelos de arbitraje estadístico con el fin de determinar si el grado de eficiencia del mercado afecta a la rentabilidad de las estrategias.

Las estrategias desarrolladas han sido la de **Cointegración, Correlación, Distancia y Hurst**. En todos los casos b se ha seleccionado de forma tradicional, es decir, con $b = 1$, tal y como se ha descrito en el Capítulo anterior.

Las pruebas realizadas se han planteado en dos escenarios. En el primero de ellos se han realizado los test tan sólo para los mercados latinoamericanos, contrastándose los resultados obtenidos con las acciones del índice Nasdaq 100. El mercado Nasdaq se considera un ejemplo de mercado eficiente pero, debido a que las acciones son más volátiles que en otros mercados desarrollados, las posibilidades de un retorno significativo son mayores según los resultados de Ramos, Sánchez y Trinidad [199]. Entendemos que, a efectos de comparación, esta es la mejor opción.

En un segundo escenario se han extendido los test a las 50 empresas de mayor capitalización de 39 países que se han clasificado entre emergentes y desarrollados.

5.1.1. Resultados de la estrategia de arbitraje en los mercados Latinoamericanos

Para la solidez de nuestro análisis, tomaremos subperíodos de 4 años (2002-2007; 2007-2012; 2012-2017) y consideraremos cuatro grupos de valores: Nasdaq 100, emergentes, Brasil y Chile.

Se han realizado varios grupos en la muestra que se ha organizado de la siguiente forma.

En el primer grupo, consideramos las acciones del índice Nasdaq 100, en el segundo grupo consideramos 65 acciones de Argentina, Brasil y Chile (Tabla 5.1, Tabla 5.2 y Tabla 5.3), en el tercer grupo se consideró 21 acciones de Brasil (Tabla 5.4) y en el cuarto grupo consideramos 28 acciones de Chile (Tabla 5.5). Como limitación del trabajo indicamos que no se ha teniendo en cuenta que no tomamos el costo de cubrir las diferentes monedas cuando trabajamos con el segundo grupo.

Cuadro 5.1: Acciones del grupo de mercados emergentes. 1/3

Ticker	Compañía
BRML3.SA	BR Malls Participações S.A.
BRKM5.SA	Braskem S.A.
ENELGXCH.SN	Enel Generacion Chile S.A.
BANMEDICA.SN	Banmedica S.A.
COLBUN.SN	Colbun S.A.
AGUAS-A.SN	Aguas Andinas S.A.
CAP.SN	CAP S.A.
LTM.SN	LATAM Airlines Group S.A.
BCI.SN	Banco de Credito e Inversiones
SMSAAM.SN	Sociedad Matriz SAAM S.A.
ENELAM.SN	Enel Americas S.A.
ANDINA-B.SN	Embotelladora Andina S.A.
FALABELLA.SN	S.A.C.I. Falabella
AESGENER.SN	AES Gener S.A.
ENTEL.SN	Empresa Nacional de Telecomunicaciones S.A.
COPEC.SN	Empresas Copec S.A.
CENCOSUD.SN	Cencosud S.A.
ENELCHILE.SN	Enel Chile S.A.
ITAUCORP.SN	Itau CorpBanca
BSANTANDER.SN	Banco Santander-Chile
CONCHATORO.SN	Viña Concha y Toro S.A.
CCU.SN	Compañía Cervecerias Unidas S.A.
PARAUCO.SN	Parque Arauco S.A.
ILC.SN	Inversiones La Construccion S.A.
CMPC.SN	Empresas CMPC S.A.
FORUS.SN	Forus S.A.

Cuadro 5.2: Acciones del grupo de mercados emergentes. 2/3

Ticker	Compañía
SK.SN	Sigdo Koppers S.A.
SALFACORP.SN	SalfaCorp S.A.
VAPORES.SN	Compañía Sud Americana de Vapores S.A.
ECL.SN	Engie Energia Chile S.A.
TECO2.BA	Telecom Argentina S.A.
BMA.BA	Banco Macro S.A.
PESA.BA	Petrobras Argentin
APBR.BA	Petroleo Brasileiro S.A.
COME.BA	Sociedad Comercial del Plata S.A.
ERAR.BA	Siderar SA
TS.BA	Tenaris S.A.
ALUA.BA	Aluar Aluminio Argentino S.A.I.C.
GGAL.BA	Grupo Financiero Galicia S.A.
PAMP.BA	Pampa Energia S.A.
FRAN.BA	BBVA Banco Francias S.A.
YPFD.BA	YPF S. A.
EDN.BA	Empresa Distribuidora y Comercializadora Norte.
RADL3.SA	Raia Drogasil S.A.
BBDC4.SA	Banco Bradesco S.A.
KLBN11.SA	Klabin S/A Unt Ed N2
CCRO3.SA	CCR S.A.
BBDC3.SA	Banco Bradesco S.A.
UGPA3.SA	Ultrapar Participações S.A.
JBSS3.SA	JBS S.A.
BBDC4.SA	Banco Bradesco S.A.
ITSA4.SA	Itausa - Investimentos Itau S.A.
VALE5.SA	Vale S.A.
EQTL3.SA	Equatorial Energia S.A.

Cuadro 5.3: Acciones del grupo de mercados emergentes. 3/3

Ticker	Compañía
PCAR4.SA	Companhia Brasileira de Distribuicion
ECOR3.SA	EcoRodovias Infraestrutura e Logistica S.A.
USIM5.SA	Usinas Siderurgicas de Minas Gerais S.A.
BBSE3.SA	BB Seguridade Participações S.A.
LAME4.SA	Lojas Americanas S.A.
PETR4.SA	Petroleo Brasileiro S.A. - Petrobras
BBAS3.SA	Banco do Brasil S.A.
PETR3.SA	Petroleo Brasileiro S.A. - Petrobras
OIBR4.SA	Oi S.A.
VIVT4.SA	Telefonica Brasil S.A.
MULT3.SA	Multiplan Empreendimentos Imobiliarios S.A.

Cuadro 5.4: Acciones del grupo de Brasil.

Ticker	Compañía
KLBN11.SA	Klabin S/A Unt Ed N2
CCRO3.SA	CCR S.A.
RADL3.SA	Raia Drogasil S.A.
BBDC3.SA	Banco Bradesco S.A.
JBSS3.SA	JBS S.A.
BBDC4.SA	Banco Bradesco S.A.
ITSA4.SA	Itausa - Investimentos Itau S.A.
VALE5.SA	Vale S.A.
EQTL3.SA	Equatorial Energia S.A.
PCAR4.SA	Companhia Brasileira de Distribuicon
ECOR3.SA	EcoRodovias Infraestrutura e Logistica S.A.
USIM5.SA	Usinas Siderurgicas de Minas Gerais S.A.
BBSE3.SA	BB Seguridade Participações.A.
LAME4.SA	Lojas Americanas S.A.
PETR4.SA	Petroleo Brasileiro S.A. - Petrobras
BBAS3.SA	Banco do Brasil S.A.
PETR3.SA	Petroleo Brasileiro S.A. - Petrobras
OIBR4.SA	Oi S.A.
VIVT4.SA	Telefonica Brasil S.A.
MULT3.SA	Multiplan Empreendimentos Imobiliarios S.A.
BRML3.SA	BR Malls ParticipaçõesS.A.

Cuadro 5.5: Acciones del grupo de Chile.

Ticker	Compañía
ENELGXCH.SN	Enel Generacion Chile S.A.
BANMEDICA.SN	Banmedica S.A.
COLBUN.SN	Colbun S.A.
AGUAS-A.SN	Aguas Andinas S.A.
CAP.SN	CAP S.A.
LTM.SN	LATAM Airlines Group S.A.
BCI.SN	Banco de Credito e Inversiones
SMSAAM.SN	Sociedad Matriz SAAM S.A.
ENELAM.SN	Enel Americas S.A.
ANDINA-B.SN	Embotelladora Andina S.A.
FALABELLA.SN	S.A.C.I. Falabella
AESGENER.SN	AES Gener S.A.
ENTEL.SN	Empresa Nacional de Telecomunicaciones S.A.
COPEC.SN	Empresas Copec S.A.
CENCOSUD.SN	Cencosud S.A.
ENELCHILE.SN	Enel Chile S.A.
ITAUCORP.SN	Itau CorpBanca
BSANTANDER.SN	Banco Santander-Chile
CONCHATORO.SN	Viña Concha y Toro S.A.
CCU.SN	Compañía Cerveceras Unidas S.A.
PARAUCO.SN	Parque Arauco S.A.
ILC.SN	Inversiones La Construccion S.A.
CMPC.SN	Empresas CMPC S.A.
FORUS.SN	Forus S.A.
SK.SN	Sigdo Koppers S.A.
SALFACORP.SN	SalfaCorp S.A.
VAPORES.SN	Compañía Sud Americana de Vapores S.A.
ECL.SN	Engie Energia Chile S.A.

Las tablas [5.6](#) [5.7](#) [5.8](#) [5.9](#) [5.10](#) [5.11](#) [5.12](#) [5.13](#) [5.14](#) muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la estrategia.

Se puede observar claramente que dicha estrategia es neutral para las acciones de Nasdaq 100 (consideramos costos de transacción de 0.01 %). De hecho, solo si ampliamos el análisis (no mostrado en las tablas) al período 1997-2002 encontramos que la estrategia de Pairs Trading es rentable para las acciones de Nasdaq 100. Recordemos que este periodo fue de extrema volatilidad debido a la burbuja de las punto.com.

Cuadro 5.6: Resultados obtenidos para el período 2002-2007 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (1/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	2	Cointegración	383	0,16	20,00 %	7,38 %
Chile	2	Cointegración	410	0.01	23,10 %	-1,15 %
Emergente	2	Cointegración	466	-0.34	43,90 %	-25,43 %
Nasdaq 100	2	Cointegración	437	-0.56	44,40 %	-38,79 %
Brasil	2	Correlación	326	0.83	13,20 %	38,87 %
Chile	2	Correlación	448	0.28	10,90 %	7,66 %
Emergente	2	Correlación	370	0.59	11,00 %	29,45 %
Nasdaq 100	2	Correlación	298	0.92	3,90 %	15,51 %
Brasil	2	Distancia	307	0.81	14,60 %	40,46 %
Chile	2	Distancia	435	0.42	18,80 %	19,02 %
Emergente	2	Distancia	343	0.19	36,00 %	10,78 %
Nasdaq 100	2	Distancia	380	-0.19	16,20 %	-8,90 %
Brasil	2	Hurst	297	0.72	13,80 %	33,61 %
Chile	2	Hurst	357	0.09	21,20 %	2,81 %
Emergente	2	Hurst	303	0.58	16,30 %	30,78 %
Nasdaq 100	2	Hurst	356	-0.50	37,80 %	-26,78 %
Brasil	5	Cointegración	905	0.59	12,40 %	25,19 %
Chile	5	Cointegración	1050	0.16	16,10 %	3,70 %
Emergente	5	Cointegración	1088	-0.50	32,30 %	-22,98 %
Nasdaq 100	5	Cointegración	1097	-0.40	32,70 %	-22,49 %
Brasil	5	Correlación	904	0.47	15,50 %	17,29 %
Chile	5	Correlación	1085	0.40	9,40 %	8,43 %
Emergente	5	Correlación	989	0.20	11,80 %	5,32 %
Nasdaq 100	5	Correlación	890	0.35	6,70 %	5,92 %
Brasil	5	Distancia	871	0.79	16,80 %	34,76 %
Chile	5	Distancia	1081	0.18	20,80 %	4,44 %
Emergente	5	Distancia	1011	-0.43	39,90 %	-24,02 %
Nasdaq 100	5	Distancia	911	0.40	9,10 %	13,78 %

Cuadro 5.7: Resultados obtenidos para el período 2002-2007 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (2/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	5	Hurst	800	1.17	8,90 %	45,80 %
Chile	5	Hurst	873	0.65	11,00 %	18,95 %
Emergente	5	Hurst	866	0.98	10,20 %	53,47 %
Nasdaq 100	5	Hurst	925	-0.58	34,90 %	-23,55 %
Brasil	10	Cointegración	1874	1.08	10,40 %	39,23 %
Chile	10	Cointegración	2028	0.23	9,40 %	5,07 %
Emergente	10	Cointegración	2045	-0.15	25,80 %	-7,65 %
Nasdaq 100	10	Cointegración	2084	-0.11	20,20 %	-7,28 %
Brasil	10	Correlación	1778	0.77	10,50 %	27,62 %
Chile	10	Correlación	2146	0.37	11,20 %	5,65 %
Emergente	10	Correlación	1955	0.26	10,10 %	5,34 %
Nasdaq 100	10	Correlación	1809	0.28	7,00 %	3,39 %
Brasil	10	Distancia	1811	0.47	12,50 %	15,49 %
Chile	10	Distancia	2137	0.39	12,00 %	9,26 %
Emergente	10	Distancia	2166	-0.21	27,50 %	-10,07 %
Nasdaq 100	10	Distancia	2039	-0.47	20,20 %	-15,34 %
Brasil	10	Hurst	1756	1.23	9,10 %	44,64 %
Chile	10	Hurst	1869	0.39	10,00 %	6,33 %
Emergente	10	Hurst	1836	0.62	10,50 %	27,16 %
Nasdaq 100	10	Hurst	1941	-0.62	29,80 %	-22,54 %
Brasil	20	Cointegración	3770	0.92	11,90 %	26,11 %
Chile	20	Cointegración	4021	0.10	10,40 %	0,29 %
Emergente	20	Cointegración	4133	0.29	9,40 %	6,93 %
Nasdaq 100	20	Cointegración	4164	-0.19	18,70 %	-9,38 %
Brasil	20	Correlación	3606	1.01	9,00 %	33,40 %
Chile	20	Correlación	4208	0.80	4,40 %	13,00 %
Emergente	20	Correlación	4089	0.42	7,60 %	8,06 %
Nasdaq 100	20	Correlación	3869	0.40	6,90 %	5,27 %

Cuadro 5.8: Resultados obtenidos para el período 2002-2007 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (3/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	20	Distancia	3678	0.95	9,50 %	27,06 %
Chile	20	Distancia	4194	0.32	9,80 %	5,30 %
Emergente	20	Distancia	4189	-0.02	16,50 %	-2,59 %
Nasdaq 100	20	Distancia	4105	-0.50	17,30 %	-13,85 %
Brasil	20	Hurst	3528	1.48	5,50 %	44,94 %
Chile	20	Hurst	3917	0.28	5,20 %	3,04 %
Emergente	20	Hurst	3644	1.05	7,30 %	46,88 %
Nasdaq 100	20	Hurst	3994	-0.64	27,70 %	-20,90 %
Brasil	30	Cointegración	5604	0.96	10,00 %	25,33 %
Chile	30	Cointegración	6075	0.05	11,20 %	-1,03 %
Emergente	30	Cointegración	6286	0.60	6,60 %	15,60 %
Nasdaq 100	30	Cointegración	6271	-0.19	15,10 %	-8,59 %
Brasil	30	Correlación	5452	1.19	5,50 %	34,98 %
Chile	30	Correlación	6248	0.53	3,90 %	6,82 %
Emergente	30	Correlación	6093	0.57	5,90 %	9,97 %
Nasdaq 100	30	Correlación	5938	0.56	5,00 %	7,82 %
Brasil	30	Distancia	5716	0.87	6,90 %	22,49 %
Chile	30	Distancia	6264	0.16	11,10 %	1,21 %
Emergente	30	Distancia	6328	-0.04	14,00 %	-3,21 %
Nasdaq 100	30	Distancia	6269	-0.64	19,70 %	-16,39 %
Brasil	30	Hurst	5579	1.15	7,10 %	31,34 %
Chile	30	Hurst	5891	0.36	5,20 %	3,84 %
Emergente	30	Hurst	5476	1.29	5,40 %	56,37 %
Nasdaq 100	30	Hurst	5944	-0.46	22,00 %	-15,28 %

Cuadro 5.9: Resultados obtenidos para el período 2007-2012 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (1/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	2	Cointegración	384	0,11	23,70 %	4,28 %
Chile	2	Cointegración	422	-0.61	25,10 %	-23,41 %
Emergente	2	Cointegración	363	0.43	13,00 %	23,28 %
Nasdaq 100	2	Cointegración	312	-0.01	11,80 %	-1,76 %
Brasil	2	Correlación	453	0.30	7,80 %	7,53 %
Chile	2	Correlación	369	-0.22	17,60 %	-8,25 %
Emergente	2	Correlación	403	-0.75	17,70 %	-18,42 %
Nasdaq 100	2	Correlación	343	0.49	1,20 %	0,58 %
Brasil	2	Distancia	375	-0.04	17,60 %	-3,48 %
Chile	2	Distancia	388	0.48	12,00 %	20,06 %
Emergente	2	Distancia	309	0.92	11,20 %	40,25 %
Nasdaq 100	2	Distancia	337	-0.47	10,80 %	-6,49 %
Brasil	2	Hurst	416	-0.22	20,20 %	-11,58 %
Chile	2	Hurst	443	-0.25	21,30 %	-11,92 %
Emergente	2	Hurst	417	-0.03	15,70 %	-3,09 %
Nasdaq 100	2	Hurst	306	0.20	8,50 %	3,67 %
Brasil	5	Cointegración	946	0.41	16,10 %	14,41 %
Chile	5	Cointegración	1010	-0.09	12,20 %	-4,42 %
Emergente	5	Cointegración	1009	0.21	12,90 %	5,98 %
Nasdaq 100	5	Cointegración	793	0.65	6,50 %	16,41 %
Brasil	5	Correlación	1020	0.74	5,50 %	21,26 %
Chile	5	Correlación	1012	0.01	14,80 %	-1,72 %
Emergente	5	Correlación	951	0.93	5,00 %	21,20 %
Nasdaq 100	5	Correlación	832	1.13	1,60 %	7,24 %
Brasil	5	Distancia	982	-0.15	20,50 %	-7,06 %
Chile	5	Distancia	938	0.28	7,60 %	5,72 %
Emergente	5	Distancia	848	0.58	5,90 %	15,50 %
Nasdaq 100	5	Distancia	899	0.39	7,60 %	4,50 %

Cuadro 5.10: Resultados obtenidos para el período 2007-2012 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (2/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	5	Hurst	936	-0.31	21,70 %	-11,77 %
Chile	5	Hurst	931	0.88	7,00 %	24,34 %
Emergente	5	Hurst	1008	0.38	14,10 %	9,78 %
Nasdaq 100	5	Hurst	997	-0.43	21,50 %	-12,39 %
Brasil	10	Cointegración	1960	0.31	13,80 %	7,14 %
Chile	10	Cointegración	1976	0.36	8,80 %	5,82 %
Emergente	10	Cointegración	1949	0.56	6,20 %	14,35 %
Nasdaq 100	10	Cointegración	1766	0.75	5,10 %	12,83 %
Brasil	10	Correlación	1966	0.96	4,50 %	28,63 %
Chile	10	Correlación	1999	0.10	9,60 %	-0,10 %
Emergente	10	Correlación	1773	1.39	3,30 %	28,73 %
Nasdaq 100	10	Correlación	1759	0.89	1,90 %	5,74 %
Brasil	10	Distancia	1968	-0.04	10,50 %	-3,07 %
Chile	10	Distancia	1892	0.53	6,10 %	9,01 %
Emergente	10	Distancia	1740	0.84	7,90 %	23,26 %
Nasdaq 100	10	Distancia	1831	0.87	4,60 %	11,57 %
Brasil	10	Hurst	1872	-0.06	11,90 %	-3,37 %
Chile	10	Hurst	1931	0.75	4,30 %	15,67 %
Emergente	10	Hurst	1885	0.16	13,20 %	2,11 %
Nasdaq 100	10	Hurst	2065	-0.19	12,70 %	-5,87 %
Brasil	20	Cointegración	3949	0.25	11,80 %	3,83 %
Chile	20	Cointegración	4006	0.60	6,80 %	9,10 %
Emergente	20	Cointegración	3872	0.47	7,30 %	9,36 %
Nasdaq 100	20	Cointegración	3674	0.58	5,70 %	7,16 %
Brasil	20	Correlación	3923	0.67	4,20 %	14,94 %
Chile	20	Correlación	4171	0.14	6,50 %	0,21 %
Emergente	20	Correlación	3797	0.99	5,60 %	18,50 %
Nasdaq 100	20	Correlación	3718	0.94	2,30 %	5,94 %

Cuadro 5.11: Resultados obtenidos para el período 2007-2012 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (3/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	20	Distancia	3911	0.40	11,20 %	8,14 %
Chile	20	Distancia	3990	0.59	7,00 %	8,20 %
Emergente	20	Distancia	3745	0.68	7,00 %	15,83 %
Nasdaq 100	20	Distancia	3674	1.08	3,90 %	14,16 %
Brasil	20	Hurst	3794	0.28	9,00 %	4,70 %
Chile	20	Hurst	3813	0.64	5,90 %	9,99 %
Emergente	20	Hurst	3557	0.41	8,60 %	8,32 %
Nasdaq 100	20	Hurst	4092	-0.19	13,00 %	-5,35 %
Brasil	30	Cointegración	6117	0.18	9,10 %	1,66 %
Chile	30	Cointegración	5973	0.57	6,40 %	7,11 %
Emergente	30	Cointegración	5696	0.58	7,30 %	10,60 %
Nasdaq 100	30	Cointegración	5610	0.58	4,30 %	6,53 %
Brasil	30	Correlación	5827	0.74	4,30 %	16,16 %
Chile	30	Correlación	6312	0.21	6,40 %	1,00 %
Emergente	30	Correlación	5964	0.62	7,70 %	9,61 %
Nasdaq 100	30	Correlación	5670	0.41	2,80 %	1,71 %
Brasil	30	Distancia	5914	0.49	9,20 %	8,83 %
Chile	30	Distancia	6053	0.42	7,00 %	4,68 %
Emergente	30	Distancia	5744	0.57	7,60 %	10,99 %
Nasdaq 100	30	Distancia	5542	1.25	3,40 %	16,25 %
Brasil	30	Hurst	5700	0.13	8,80 %	0,80 %
Chile	30	Hurst	5750	0.55	5,60 %	7,28 %
Emergente	30	Hurst	5388	0.55	6,90 %	10,70 %
Nasdaq 100	30	Hurst	6011	-0.24	14,10 %	-6,20 %

Cuadro 5.12: Resultados obtenidos para el período 2012-2017 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.(1/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	2	Cointegración	384	0,11	23,70 %	4,28 %
Chile	2	Cointegración	422	-0.61	25,10 %	-23,41 %
Emergente	2	Cointegración	363	0.43	13,00 %	23,28 %
Nasdaq 100	2	Cointegración	312	-0.01	11,80 %	-1,76 %
Brasil	2	Correlación	453	0.30	7,80 %	7,53 %
Chile	2	Correlación	369	-0.22	17,60 %	-8,25 %
Emergente	2	Correlación	403	-0.75	17,70 %	-18,42 %
Nasdaq 100	2	Correlación	343	0.49	1,20 %	0,58 %
Brasil	2	Distancia	375	-0.04	17,60 %	-3,48 %
Chile	2	Distancia	388	0.48	12,00 %	20,06 %
Emergente	2	Distancia	309	0.92	11,20 %	40,25 %
Nasdaq 100	2	Distancia	337	-0.47	10,80 %	-6,49 %
Brasil	2	Hurst	416	-0.22	20,20 %	-11,58 %
Chile	2	Hurst	443	-0.25	21,30 %	-11,92 %
Emergente	2	Hurst	417	-0.03	15,70 %	-3,09 %
Nasdaq 100	2	Hurst	306	0.20	8,50 %	3,67 %
Brasil	5	Cointegración	946	0.41	16,10 %	14,41 %
Chile	5	Cointegración	1010	-0.09	12,20 %	-4,42 %
Emergente	5	Cointegración	1009	0.21	12,90 %	5,98 %
Nasdaq 100	5	Cointegración	793	0.65	6,50 %	16,41 %
Brasil	5	Correlación	1020	0.74	5,50 %	21,26 %
Chile	5	Correlación	1012	0.01	14,80 %	-1,72 %
Emergente	5	Correlación	951	0.93	5,00 %	21,20 %
Nasdaq 100	5	Correlación	832	1.13	1,60 %	7,24 %
Brasil	5	Distancia	982	-0.15	20,50 %	-7,06 %
Chile	5	Distancia	938	0.28	7,60 %	5,72 %
Emergente	5	Distancia	848	0.58	5,90 %	15,50 %
Nasdaq 100	5	Distancia	899	0.39	7,60 %	4,50 %

Cuadro 5.13: Resultados obtenidos para el período 2012-2017 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.(2/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	5	Hurst	936	-0.31	21,70 %	-11,77 %
Chile	5	Hurst	931	0.88	7,00 %	24,34 %
Emergente	5	Hurst	1008	0.38	14,10 %	9,78 %
Nasdaq 100	5	Hurst	997	-0.43	21,50 %	-12,39 %
Brasil	10	Cointegración	1960	0.31	13,80 %	7,14 %
Chile	10	Cointegración	1976	0.36	8,80 %	5,82 %
Emergente	10	Cointegración	1949	0.56	6,20 %	14,35 %
Nasdaq 100	10	Cointegración	1766	0.75	5,10 %	12,83 %
Brasil	10	Correlación	1966	0.96	4,50 %	28,63 %
Chile	10	Correlación	1999	0.10	9,60 %	-0,10 %
Emergente	10	Correlación	1773	1.39	3,30 %	28,73 %
Nasdaq 100	10	Correlación	1759	0.89	1,90 %	5,74 %
Brasil	10	Distancia	1968	-0.04	10,50 %	-3,07 %
Chile	10	Distancia	1892	0.53	6,10 %	9,01 %
Emergente	10	Distancia	1740	0.84	7,90 %	23,26 %
Nasdaq 100	10	Distancia	1831	0.87	4,60 %	11,57 %
Brasil	10	Hurst	1872	-0.06	11,90 %	-3,37 %
Chile	10	Hurst	1931	0.75	4,30 %	15,67 %
Emergente	10	Hurst	1885	0.16	13,20 %	2,11 %
Nasdaq 100	10	Hurst	2065	-0.19	12,70 %	-5,87 %
Brasil	20	Cointegración	3949	0.25	11,80 %	3,83 %
Chile	20	Cointegración	4006	0.60	6,80 %	9,10 %
Emergente	20	Cointegración	3872	0.47	7,30 %	9,36 %
Nasdaq 100	20	Cointegración	3674	0.58	5,70 %	7,16 %
Brasil	20	Correlación	3923	0.67	4,20 %	14,94 %
Chile	20	Correlación	4171	0.14	6,50 %	0,21 %
Emergente	20	Correlación	3797	0.99	5,60 %	18,50 %
Nasdaq 100	20	Correlación	3718	0.94	2,30 %	5,94 %

Cuadro 5.14: Resultados obtenidos para el período 2012-2017 donde N es el número de pares; $Oper.$ es el número de operaciones; $R\ Sharpe$ es el Ratio Sharpe y $Rentabilidad$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción (3/3).

Mercado	N	Método	Oper	R Sharpe	%Max Drawdown	%Rentabilidad
Brasil	20	Distancia	3911	0.40	11,20 %	8,14 %
Chile	20	Distancia	3990	0.59	7,00 %	8,20 %
Emergente	20	Distancia	3745	0.68	7,00 %	15,83 %
Nasdaq 100	20	Distancia	3674	1.08	3,90 %	14,16 %
Brasil	20	Hurst	3794	0.28	9,00 %	4,70 %
Chile	20	Hurst	3813	0.64	5,90 %	9,99 %
Emergente	20	Hurst	3557	0.41	8,60 %	8,32 %
Nasdaq 100	20	Hurst	4092	-0.19	13,00 %	-5,35 %
Brasil	30	Cointegración	6117	0.18	9,10 %	1,66 %
Chile	30	Cointegración	5973	0.57	6,40 %	7,11 %
Emergente	30	Cointegración	5696	0.58	7,30 %	10,60 %
Nasdaq 100	30	Cointegración	5610	0.58	4,30 %	6,53 %
Brasil	30	Correlación	5827	0.74	4,30 %	16,16 %
Chile	30	Correlación	6312	0.21	6,40 %	1,00 %
Emergente	30	Correlación	5964	0.62	7,70 %	9,61 %
Nasdaq 100	30	Correlación	5670	0.41	2,80 %	1,71 %
Brasil	30	Distancia	5914	0.49	9,20 %	8,83 %
Chile	30	Distancia	6053	0.42	7,00 %	4,68 %
Emergente	30	Distancia	5744	0.57	7,60 %	10,99 %
Nasdaq 100	30	Distancia	5542	1.25	3,40 %	16,25 %
Brasil	30	Hurst	5700	0.13	8,80 %	0,80 %
Chile	30	Hurst	5750	0.55	5,60 %	7,28 %
Emergente	30	Hurst	5388	0.55	6,90 %	10,70 %
Nasdaq 100	30	Hurst	6011	-0.24	14,10 %	-6,20 %

Observando los períodos estudiados, podemos concluir que el arbitraje estadístico obtiene resultados positivos en los mercados emergentes en la mayoría de los casos, pero principalmente cuando se utiliza la metodología basada en el exponente de Hurst. En el caso de Nasdaq, el Pairs Trading es rentable solo en casos muy limitados con un rendimiento del 15,5 % cuando se utiliza la correlación. Si consideramos el período comprendido entre 2007 y 2012, la estrategia del Pairs Trading es muy rentable en todos los casos en mercados emergentes y nuevamente en algunos casos en acciones del Nasdaq 100. El último período muestra resultados similares, pero con una clara disminución de la rentabilidad.

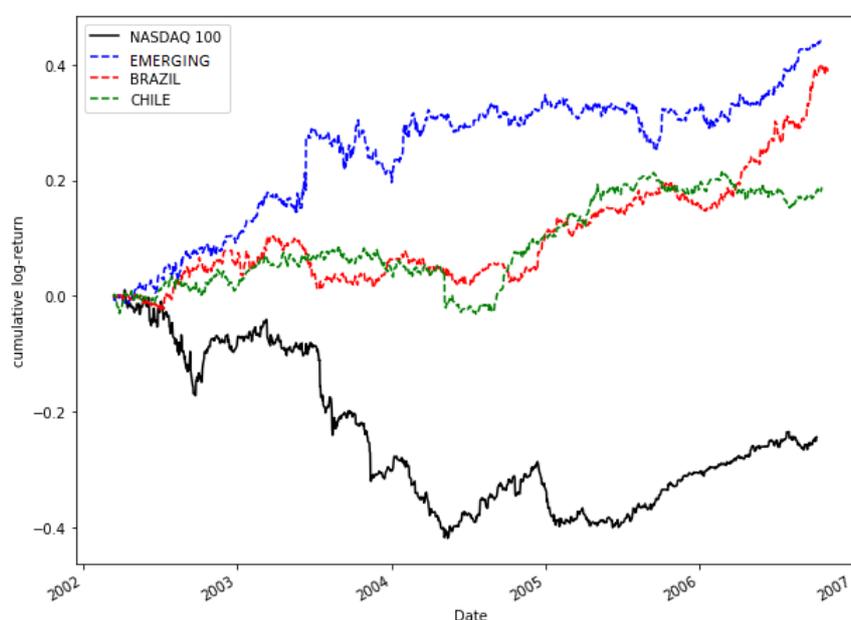


Figura 5.1: Comparación (de logaritmos de retornos acumulados) de estrategia de Pairs Trading entre Mercados Emergentes y Nasdaq 100 (period: 2002-2007; método: Exponente Hurst; 5 pairs).

Las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 muestran el rendimiento en 15 años para una cartera compuesta por 5 pares de acciones elegidas entre el Nasdaq 100 y el mercado emergente de América del Sur. Los pares se seleccionan usando el Exponente de Hurst. Para una mejor comparación, también mostramos los dos mercados más grandes de América del Sur, Chile y Brasil.

En la Figura 5.3 se puede observar que desde 2012 a 2014 los mercados emergentes y

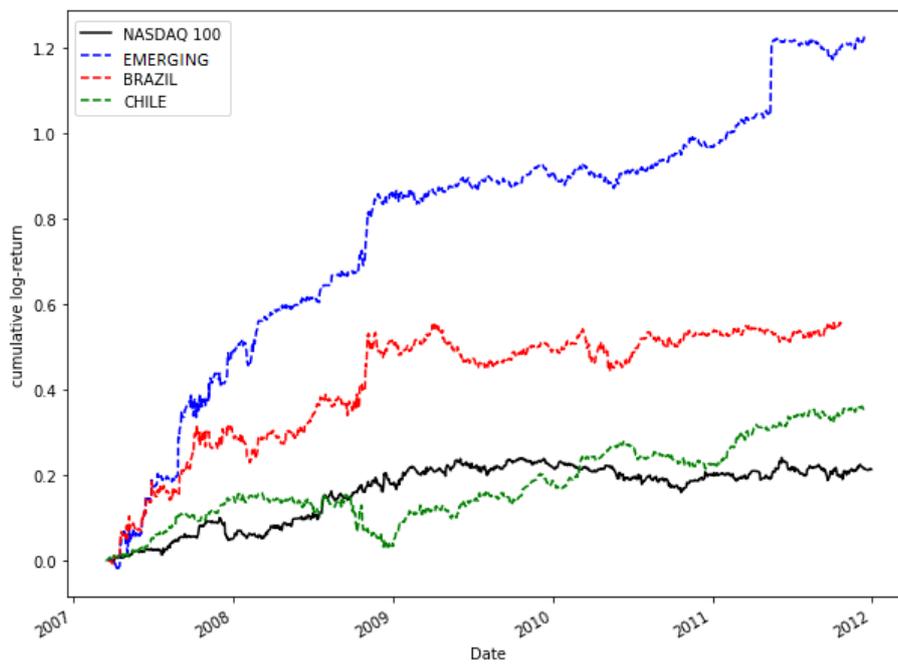


Figura 5.2: Comparación (de logaritmos de retornos acumulados) de estrategia de Pairs Trading entre Mercados Emergentes y Nasdaq 100 (period: 2007-2012; método: Exponente Hurst; 5 pairs).

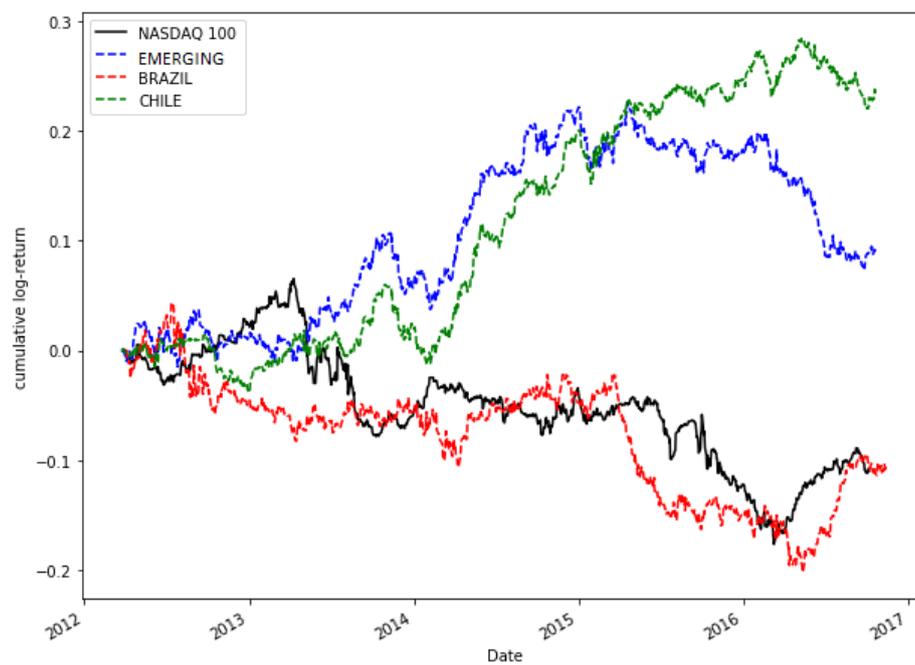


Figura 5.3: Comparación (de logaritmos de retornos acumulados) de estrategia de Pairs Trading entre Mercados Emergentes y Nasdaq 100 (period: 2012-2017; método: Exponente Hurst; 5 pairs).

Nasdaq 100 tienen un desempeño bastante similar, pero después del 2014 es interesante observar la rentabilidad de la estrategia de arbitraje en el caso del mercado brasileño. En el caso de los otros periodos, las Figuras 5.1 y 5.2 muestran claramente que la estrategia de Pairs Trading no es rentable en los casos de las acciones de Nasdaq 100. En el resto de mercados, la estrategia parece funcionar correctamente excepto en los mercados chilenos, donde la rentabilidad, en algunos casos, no es tan importante.

Comentar que en este estudio se ha utilizado la estrategia comercial descrita en el Capítulo anterior, y algunas variantes, como usar 1,5 o 2 veces la desviación típica (en vez de 1 vez), como indicativo de que la serie del par se ha desviado de la media y, por tanto, como señal para iniciar una operación en el par. Los datos que aparecen en las tablas y gráficas en esta sección corresponden a 1,5 veces la desviación típica. En todos los casos los resultados son similares, con lo que la elección de este parámetro no afecta de forma significativa a los resultados obtenidos.

5.1.2. Resultados de la estrategia de arbitraje en los mercados mundiales

En esta sección se ha extendido la aplicación de la estrategia de arbitraje a las 50 empresas de mayor capitalización de 39 países emergentes y desarrollados, dividiendo el período de estudio en subperíodos 2000-2007, 2007-2014 y 2014-2020.

Se han seleccionado carteras compuestas por 30, 40 y 50 pares cada una. Como novedad en este apartado indicaremos que b se ha seleccionado aplicando la metodología de minimización de la distancia, descrita en el Capítulo anterior y propuesta en Ramos, Trinidad y Sánchez [201].

Hemos seguido la clasificación de los países estudiados entre emergentes y avanzados dada por MSCI. Esta clasificación aparece en la tabla 5.15 y 5.16.

Cuadro 5.15: Clasificación de países emergentes y avanzados, según MSCI.

País	Clasificación
Argentina	Emergente
Bahrein	Emergente
Bélgica	Avanzado
Brasil	Emergente
Colombia	Emergente
República Checa	Emergente
Dinamarca	Avanzado
Dubai	Emergente
Finlandia	Avanzado
Francia	Avanzado
Grecia	Emergente
Hong Kong	Avanzado
India	Emergente
Israel	Avanzado
Italia	Avanzado
Japón	Avanzado
Jordán	Emergente
Kuwait	Emergente
Líbano	Emergente

Cuadro 5.16: Clasificación de países emergentes y avanzados, según MSCI.

País	Clasificación
Mauricio	Emergente
México	Emergente
Marruecos	Emergente
Namibia	Emergente
Países Bajos	Avanzado
Noruega	Avanzado
Omán	Emergente
Pakistán	Emergente
Palestina	Emergente
Polonia	Emergente
Portugal	Avanzado
Rumania	Emergente
Rusia	Emergente
Arabia Saudita	Emergente
Sudáfrica	Emergente
España	Avanzado
Suecia	Avanzado
Suiza	Avanzado
Tailandia	Emergente
Estados Unidos	Avanzado

Las siguientes tablas 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22 muestran los resultados obtenidos para el período 2000-2007 para las carteras compuestas por 30, 40 y 50 pares. Se puede observar que los mayores beneficios tras los costes de transacción se obtienen para los países emergentes, especialmente en Sudáfrica (71,21 %, 65,84 % y 65,68 %), Japón (32,61 %, 28,99 % y 28,87 %) y Israel (28,99 %).

No cabe duda de que Japón no es un país emergente, pero atribuimos estos resultados a la ineficiencia causada por el sesgo negativo de larga duración en su mercado de valores, que ha hecho que muchos inversores se olviden de él.

Para el mismo período, los mercados desarrollados, especialmente Estados Unidos, muestran una rentabilidad después de impuestos significativamente negativa (-12,87%, -11,61% y -10,05%), así como otros países europeos como Noruega, Rusia y Portugal.

Si miramos los valores del ratio de Sharpe podemos ver que se obtiene un valor superior a 1 para países como Sudáfrica (1,98, 1,6 y 1,45), Líbano (1,11), Namibia (1,1), Israel y Japón. Frente a estos valores, encontramos Noruega con un ratio Sharpe negativo (-0,74) y Estados Unidos (-0,35, -0,31 y -0,26).

Cuadro 5.17: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operaciones	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	30	1666	0.80 %	0.31	4.14 %
Bahrein	30	6	-0.10 %	-0.53	-0.20 %
Bélgica	30	3617	1.50 %	0.57	10.99 %
Brasil	30	3127	1.10 %	0.26	7.06 %
Colombia	30	1612	-0.80 %	-0.25	-4.34 %
República Checa	30	1224	-0.40 %	-0.26	-3.31 %
Dinamarca	30	2710	-0.30 %	-0.11	-2.60 %
Dubai	30	509	-0.50 %	-0.30	-2.67 %
Finlandia	30	2591	2.00 %	0.72	14.64 %
Francia	30	3284	1.50 %	0.54	11.71 %
Grecia	30	2644	0.20 %	0.05	0.32 %
Hong Kong	30	63	0.20 %	0.78	1.28 %
India	30	3116	0.80 %	0.22	5.46 %
Israel	30	3628	3.60 %	0.96	28.99 %
Italia	30	3249	1.80 %	0.68	13.22 %
Japón	30	2983	4.00 %	1.04	32.61 %
Jordán	30	1980	0.50 %	0.16	2.14 %
Kuwait	30	2452	0.20 %	0.07	0.58 %
Líbano	30	171	0.60 %	1.11	2.64 %

Cuadro 5.18: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operaciones	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	30	1855	-0.50 %	-0.23	-3.92 %
México	30	2362	1.40 %	0.48	7.91 %
Marruecos	30	882	0.60 %	0.35	3.91 %
Namibia	30	1590	3.00 %	1.06	12.07 %
Países Bajos	30	3322	3.20 %	0.80	27.59 %
Noruega	30	679	-1.10 %	-0.74	-8.63 %
Omán	30	740	-0.10 %	-0.08	-0.85 %
Pakistán	30	2116	1.90 %	0.51	14.19 %
Palestina	30	264	0.50 %	0.42	2.51 %
Polonia	30	4	0.90 %	1.37	0.20 %
Portugal	30	2772	-0.50 %	-0.16	-4.72 %
Rumania	30	34	-0.30 %	-0.71	-1.21 %
Rusia	30	2887	-0.90 %	-0.27	-7.86 %
Arabia Saudita	30	2530	0.30 %	0.12	1.86 %
Sudáfrica	30	4682	6.90 %	1.45	65.84 %
España	30	304	0.00 %	-0.07	-0.40 %
Suecia	30	4057	0.00 %	-0.01	-1.55 %
Suiza	30	3552	0.60 %	0.19	3.32 %
Tailandia	30	2779	0.80 %	0.21	4.77 %
Estados Unidos	30	2736	-1.50 %	-0.26	-11.61 %

Cuadro 5.19: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	40	1776	0.50 %	0.27	2.66 %
Bahrein	40	6	-0.10 %	-0.53	-0.20 %
Bélgica	40	4714	1.40 %	0.61	10.12 %
Brasil	40	3923	0.40 %	0.12	2.32 %
Colombia	40	1851	-0.50 %	-0.18	-2.76 %
República Checa	40	1224	-0.30 %	-0.26	-2.51 %
Dinamarca	40	3477	-0.20 %	-0.10	-2.27 %
Dubai	40	509	-0.40 %	-0.30	-2.03 %
Finlandia	40	3393	2.10 %	0.78	15.15 %
Francia	40	4158	1.70 %	0.67	12.96 %
Grecia	40	3499	-0.20 %	-0.04	-1.87 %
Hong Kong	40	63	0.10 %	0.78	0.98 %
India	40	4084	0.90 %	0.25	6.18 %
Israel	40	4658	3.00 %	0.91	23.54 %
Italia	40	4124	1.80 %	0.77	13.47 %
Japón	40	3795	3.60 %	1.02	29.45 %
Jordán	40	2539	-0.10 %	-0.03	-1.13 %
Kuwait	40	3204	0.20 %	0.09	1.00 %
Líbano	40	171	0.40 %	1.11	2.06 %

Cuadro 5.20: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	40	2335	-0.50 %	-0.28	-4.08 %
México	40	3032	0.50 %	0.19	2.24 %
Marruecos	40	1018	0.40 %	0.32	3.15 %
Namibia	40	1706	2.50 %	1.10	10.17 %
Países Bajos	40	4486	3.40 %	0.95	28.78 %
Noruega	40	679	-0.80 %	-0.74	-6.47 %
Omán	40	809	0.10 %	0.07	0.20 %
Pakistán	40	2620	2.00 %	0.65	15.54 %
Palestina	40	264	0.40 %	0.42	1.83 %
Polonia	40	4	0.70 %	1.37	0.10 %
Portugal	40	3710	-0.30 %	-0.11	-3.43 %
Rumania	40	34	-0.20 %	-0.71	-0.91 %
Rusia	40	3503	-1.00 %	-0.33	-8.58 %
Arabia Saudita	40	3320	0.00 %	0.00	-0.73 %
Sudáfrica	40	6073	6.90 %	1.60	65.68 %
España	40	304	0.00 %	-0.07	-0.28 %
Suecia	40	5049	-0.40 %	-0.16	-4.26 %
Suiza	40	4734	0.30 %	0.12	1.32 %
Tailandia	40	3589	0.00 %	0.00	-0.90 %
Estados Unidos	40	3461	-1.70 %	-0.35	-12.87 %

Cuadro 5.21: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	50	1776	0.40 %	0.27	2.14 %
Bahrein	50	6	-0.10 %	-0.53	-0.10 %
Bélgica	50	5735	1.40 %	0.66	10.25 %
Brasil	50	4747	0.90 %	0.24	5.65 %
Colombia	50	2080	-0.50 %	-0.20	-2.72 %
República Checa	50	1224	-0.20 %	-0.26	-2.04 %
Dinamarca	50	4307	-0.20 %	-0.09	-2.06 %
Dubai	50	509	-0.30 %	-0.30	-1.60 %
Finlandia	50	4213	1.90 %	0.76	13.96 %
Francia	50	4987	1.80 %	0.77	13.80 %
Grecia	50	4315	-0.40 %	-0.14	-3.66 %
Hong Kong	50	63	0.10 %	0.78	0.79 %
India	50	4870	0.90 %	0.28	6.23 %
Israel	50	5710	3.30 %	1.09	25.76 %
Italia	50	4973	1.60 %	0.75	12.21 %
Japón	50	4637	3.60 %	1.08	28.87 %
Jordán	50	3071	0.20 %	0.08	0.59 %
Kuwait	50	3904	0.20 %	0.09	0.82 %
Líbano	50	171	0.30 %	1.11	1.57 %

Cuadro 5.22: Resultados obtenidos para el período 2000-2007 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	50	2782	-0.50 %	-0.34	-4.16 %
México	50	3573	0.50 %	0.23	2.59 %
Marruecos	50	1144	0.40 %	0.28	2.47 %
Namibia	50	1706	2.00 %	1.10	8.16 %
Países Bajos	50	5586	3.10 %	0.96	26.08 %
Noruega	50	679	-0.70 %	-0.74	-5.24 %
Omán	50	828	0.00 %	0.03	-0.07 %
Pakistán	50	2989	1.90 %	0.69	14.50 %
Palestina	50	264	0.30 %	0.42	1.55 %
Polonia	50	4	0.50 %	1.37	0.10 %
Portugal	50	4643	-0.60 %	-0.23	-5.43 %
Rumania	50	34	-0.20 %	-0.71	-0.71 %
Rusia	50	4114	-0.60 %	-0.21	-5.52 %
Arabia Saudita	50	4075	0.00 %	-0.01	-1.12 %
Sudáfrica	50	7458	7.40 %	1.98	71.21 %
España	50	304	0.00 %	-0.07	-0.26 %
Suecia	50	5989	-0.50 %	-0.21	-4.90 %
Suiza	50	5847	0.50 %	0.19	2.63 %
Tailandia	50	4179	0.10 %	0.05	0.16 %
Estados Unidos	50	4180	-1.30 %	-0.31	-10.04 %

Los principales resultados obtenidos para el período 2007-2014 se muestran en las tablas [5.23](#), [5.24](#), [5.25](#), [5.26](#), [5.27](#) y [5.28](#). Durante este período, nos enfrentamos a la crisis subprime, que provocó una fuerte caída de los valores de los principales índices bursátiles mundiales.

A pesar de ello, se puede ver que los mayores beneficios se obtienen para los llamados

países emergentes como Israel (54,25 %, 51,59 % y 47,32 %) y Sudáfrica (33,80 %, 32,73 % y 29,88 %).

Las ganancias significativas obtenidas en este periodo para países como Portugal (36,82 %) y Holanda (31,27 %), así como los de Estados Unidos (4.66 %, 4.13 % y 1.30 %) son una confirmación más de las conclusiones a las que llegan Ramos, Trinidad y Sánchez [199] y que posteriormente se confirman en Granero y otros [17].

Desde el punto de vista del binomio rentabilidad y riesgo, el ratio de Sharpe indicará que las mejores opciones de inversión estarán en países como Líbano (2,53), Israel (1,44, 1,35 y 1,23) y Sudáfrica (1,31, 1,28 y 1,08).

Cuadro 5.23: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	30	2877	0.10 %	0.03	-0.06 %
Bahrein	30	186	0.90 %	1.04	4.94 %
Bélgica	30	4076	2.90 %	0.92	23.64 %
Brasil	30	3756	2.00 %	0.53	14.55 %
Colombia	30	3844	1.00 %	0.41	6.62 %
República Checa	30	506	1.30 %	0.52	9.93 %
Dinamarca	30	3024	1.70 %	0.40	12.69 %
Dubai	30	2836	-2.00 %	-0.56	-15.25 %
Finlandia	30	4103	2.00 %	0.48	15.03 %
Francia	30	3470	1.50 %	0.48	10.94 %
Grecia	30	3739	2.50 %	0.48	19.85 %
Hong Kong	30	1425	1.70 %	0.55	5.72 %
India	30	4051	3.20 %	0.51	25.75 %
Israel	30	3735	6.10 %	1.23	54.25 %
Italia	30	3817	1.80 %	0.52	13.83 %
Japón	30	3010	3.70 %	0.84	30.30 %
Jordán	30	2359	0.60 %	0.15	3.41 %
Kuwait	30	2862	-0.10 %	-0.03	-1.85 %
Líbano	30	318	0.70 %	2.53	5.39 %

Cuadro 5.24: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	30	1153	0.40 %	0.28	2.72 %
México	30	2535	1.00 %	0.34	7.35 %
Marruecos	30	2635	0.60 %	0.23	3.82 %
Namibia	30	2537	1.60 %	0.50	11.95 %
Países Bajos	30	3415	3.10 %	0.71	26.26 %
Noruega	30	2091	-0.90 %	-0.41	-7.50 %
Omán	30	1816	-1.30 %	-0.57	-10.11 %
Pakistán	30	2805	0.80 %	0.16	5.06 %
Palestina	30	492	-0.60 %	-0.69	-4.56 %
Polonia	30	1886	1.80 %	0.88	13.37 %
Portugal	30	3836	4.20 %	0.73	36.82 %
Rumania	30	723	2.50 %	0.83	19.76 %
Rusia	30	3081	0.70 %	0.15	4.27 %
Arabia Saudita	30	3508	0.50 %	0.14	2.33 %
Sudáfrica	30	4557	3.60 %	1.08	29.88 %
España	30	2087	0.20 %	0.07	0.80 %
Suecia	30	4072	2.50 %	0.55	19.14 %
Suiza	30	4033	2.90 %	0.79	22.86 %
Tailandia	30	3217	-1.10 %	-0.27	-8.67 %
Estados Unidos	30	2996	0.30 %	0.11	1.30 %

Cuadro 5.25: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	40	3660	0.20 %	0.05	0.48 %
Bahrein	40	186	0.70 %	1.04	3.65 %
Bélgica	40	5243	2.50 %	0.87	20.29 %
Brasil	40	4796	2.20 %	0.67	16.60 %
Colombia	40	4846	0.70 %	0.32	4.19 %
República Checa	40	506	1.00 %	0.52	7.37 %
Dinamarca	40	4008	0.90 %	0.23	6.20 %
Dubai	40	3524	-1.40 %	-0.43	-11.28 %
Finlandia	40	5308	1.80 %	0.46	13.47 %
Francia	40	4551	1.20 %	0.42	8.56 %
Grecia	40	4873	2.50 %	0.53	19.88 %
Hong Kong	40	1831	1.00 %	0.35	3.34 %
India	40	5287	3.60 %	0.63	29.78 %
Israel	40	4858	5.90 %	1.35	51.59 %
Italia	40	4841	2.30 %	0.77	18.49 %
Japón	40	3919	3.00 %	0.72	23.12 %
Jordán	40	3023	0.70 %	0.18	4.14 %
Kuwait	40	3839	-0.10 %	-0.02	-1.36 %
Líbano	40	318	0.50 %	2.53	4.02 %

Cuadro 5.26: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	40	1317	0.30 %	0.20	1.67 %
México	40	3283	0.70 %	0.25	4.48 %
Marruecos	40	3307	0.60 %	0.27	3.97 %
Namibia	40	3004	1.50 %	0.57	10.95 %
Países Bajos	40	4517	3.60 %	0.91	31.27 %
Noruega	40	2536	-0.80 %	-0.40	-6.43 %
Omán	40	2395	-1.10 %	-0.52	-8.50 %
Pakistán	40	3607	1.40 %	0.31	9.70 %
Palestina	40	492	-0.50 %	-0.69	-3.42 %
Polonia	40	2435	1.60 %	0.82	11.59 %
Portugal	40	4981	3.00 %	0.62	24.75 %
Rumania	40	889	2.10 %	0.90	16.88 %
Rusia	40	3996	1.20 %	0.30	8.70 %
Arabia Saudita	40	4594	0.80 %	0.27	4.85 %
Sudáfrica	40	6004	4.00 %	1.28	33.80 %
España	40	2678	0.50 %	0.20	3.33 %
Suecia	40	5126	2.00 %	0.49	15.12 %
Suiza	40	5175	1.70 %	0.55	12.71 %
Tailandia	40	4267	-0.90 %	-0.27	-7.87 %
Estados Unidos	40	3882	0.70 %	0.28	4.13 %

Cuadro 5.27: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	50	4279	-0.20 %	-0.06	-2.16 %
Bahrein	50	186	0.50 %	1.04	2.96 %
Bélgica	50	6496	3.10 %	1.14	25.60 %
Brasil	50	5854	2.40 %	0.79	18.43 %
Colombia	50	5762	0.70 %	0.34	4.05 %
República Checa	50	506	0.80 %	0.52	5.90 %
Dinamarca	50	4884	0.90 %	0.25	6.32 %
Dubai	50	4144	-1.20 %	-0.40	-10.03 %
Finlandia	50	6471	1.80 %	0.51	13.51 %
Francia	50	5527	1.30 %	0.49	9.89 %
Grecia	50	6049	2.50 %	0.57	19.89 %
Hong Kong	50	2218	1.10 %	0.41	3.76 %
India	50	6529	3.20 %	0.60	25.79 %
Israel	50	5917	5.50 %	1.44	47.32 %
Italia	50	5987	2.80 %	0.99	23.10 %
Japón	50	4813	2.50 %	0.64	18.94 %
Jordán	50	3703	0.60 %	0.22	4.06 %
Kuwait	50	4698	0.60 %	0.23	4.16 %
Líbano	50	318	0.40 %	2.53	3.14 %

Cuadro 5.28: Resultados obtenidos para el período 2007-2014 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	50	1493	0.20 %	0.14	1.10 %
México	50	3921	0.60 %	0.23	3.72 %
Marruecos	50	3965	0.40 %	0.20	2.31 %
Namibia	50	3395	1.30 %	0.59	9.62 %
Países Bajos	50	5798	3.30 %	0.92	27.94 %
Noruega	50	2941	-0.80 %	-0.48	-6.59 %
Omán	50	2805	-1.00 %	-0.49	-7.46 %
Pakistán	50	4395	1.40 %	0.37	9.92 %
Palestina	50	492	-0.40 %	-0.69	-2.80 %
Polonia	50	2935	1.50 %	0.84	10.91 %
Portugal	50	6108	3.00 %	0.70	24.88 %
Rumania	50	1045	1.80 %	0.88	14.09 %
Rusia	50	4998	1.20 %	0.33	8.40 %
Arabia Saudita	50	5611	0.90 %	0.34	6.08 %
Sudáfrica	50	7346	3.90 %	1.31	32.73 %
España	50	3100	0.30 %	0.15	1.98 %
Suecia	50	6263	2.30 %	0.62	17.45 %
Suiza	50	6294	2.00 %	0.73	15.54 %
Tailandia	50	5249	-1.40 %	-0.45	-11.05 %
Estados Unidos	50	4723	0.70 %	0.32	4.66 %

Finalmente, Las tablas 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33 y 5.34 presentan los principales resultados obtenidos para el período 2014-2020 para las carteras compuestas por 30, 40 y 50 pares. En este período, la rentabilidad más alta después de los costes de transacción es para Grecia (59,71 %, 47,70 %, 42,39 %), un país que sufrió bastante la crisis de las hipotecas

de alto riesgo y tuvo que ser rescatado por la Unión Europea y las turbulencias políticas. Durante los años posteriores a la crisis dos países emergentes (Colombia y Sudáfrica) se encuentran entre los más rentables para aplicar la estrategia Pairs Trading durante este período. Algunos países como Francia, España o Dubai se encuentran entre los menos rentables para invertir, con rendimientos negativos durante este período.

Cuadro 5.29: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	30	2514	0.00 %	0.00	-0.94 %
Bahrein	30	5	0.00 %	0.16	0.00 %
Bélgica	30	3048	3.90 %	1.82	24.98 %
Brasil	30	2375	2.40 %	0.70	13.61 %
Colombia	30	3543	5.00 %	2.11	31.02 %
República Checa	30	1009	-0.70 %	-0.48	-4.44 %
Dinamarca	30	2089	1.30 %	0.56	7.10 %
Dubai	30	2307	-1.30 %	-0.35	-7.87 %
Finlandia	30	3001	0.90 %	0.30	4.30 %
Francia	30	2411	-0.60 %	-0.31	-4.20 %
Grecia	30	2978	8.60 %	1.35	59.71 %
Hong Kong	30	1997	2.20 %	0.57	11.43 %
India	30	2760	2.50 %	0.47	14.38 %
Israel	30	2590	1.40 %	0.71	7.64 %
Italia	30	2687	1.40 %	0.55	7.60 %
Japón	30	2108	1.90 %	0.60	10.60 %
Jordán	30	1682	-0.30 %	-0.17	-2.46 %
Kuwait	30	2834	2.70 %	0.85	15.36 %
Líbano	30	182	1.30 %	3.85	7.04 %

Cuadro 5.30: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (30 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	30	233	0.00 %	0.08	0.12 %
México	30	1808	-1.40 %	-0.67	-8.90 %
Marruecos	30	1606	0.20 %	0.12	0.76 %
Namibia	30	2260	2.00 %	0.71	11.55 %
Países Bajos	30	2467	1.70 %	0.59	9.58 %
Noruega	30	2381	0.80 %	0.29	4.41 %
Omán	30	1005	-0.20 %	-0.12	-1.44 %
Pakistán	30	2149	1.00 %	0.25	5.28 %
Palestina	30	358	0.00 %	0.04	-0.02 %
Polonia	30	2804	2.00 %	0.65	11.47 %
Portugal	30	2243	0.00 %	0.01	-0.55 %
Rumania	30	2036	0.50 %	0.15	2.22 %
Rusia	30	2095	0.00 %	-0.01	-0.90 %
Arabia Saudita	30	2780	2.60 %	0.82	14.77 %
Sudáfrica	30	3036	3.90 %	1.27	23.79 %
España	30	2321	-0.80 %	-0.28	-5.37 %
Suecia	30	2653	2.60 %	1.05	15.82 %
Suiza	30	2259	0.80 %	0.32	4.35 %
Tailandia	30	1869	0.00 %	0.01	-0.52 %
Estados Unidos	30	2090	0.80 %	0.41	4.20 %

Cuadro 5.31: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	40	3177	-0.40 %	-0.10	-3.19 %
Bahrein	40	5	0.00 %	0.16	0.00 %
Bélgica	40	3860	3.70 %	1.88	23.03 %
Brasil	40	3062	1.70 %	0.56	9.63 %
Colombia	40	4505	4.00 %	1.84	24.47 %
República Checa	40	1087	-0.60 %	-0.48	-3.47 %
Dinamarca	40	2634	1.00 %	0.49	5.64 %
Dubai	40	3107	-1.60 %	-0.48	-9.68 %
Finlandia	40	3774	0.30 %	0.11	0.76 %
Francia	40	3017	-0.10 %	-0.04	-1.15 %
Grecia	40	4008	7.10 %	1.28	47.70 %
Hong Kong	40	2593	1.70 %	0.46	8.65 %
India	40	3436	2.40 %	0.51	13.84 %
Israel	40	3276	1.30 %	0.71	6.88 %
Italia	40	3441	1.20 %	0.51	6.44 %
Japón	40	2677	2.30 %	0.83	13.63 %
Jordán	40	2276	-0.20 %	-0.14	-1.97 %
Kuwait	40	3753	3.20 %	1.14	18.86 %
Líbano	40	182	0.90 %	3.85	5.15 %

Cuadro 5.32: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (40 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	40	233	0.00 %	0.08	0.04 %
México	40	2230	-1.10 %	-0.60	-7.16 %
Marruecos	40	2078	-0.10 %	-0.06	-1.12 %
Namibia	40	2847	2.00 %	0.74	11.39 %
Países Bajos	40	3245	1.20 %	0.51	6.79 %
Noruega	40	3031	0.40 %	0.16	1.74 %
Omán	40	1088	-0.10 %	-0.05	-0.67 %
Pakistán	40	2851	0.90 %	0.27	4.89 %
Palestina	40	358	0.00 %	0.04	0.01 %
Polonia	40	3669	1.50 %	0.51	7.78 %
Portugal	40	2961	0.30 %	0.09	1.06 %
Rumania	40	2664	0.10 %	0.03	-0.27 %
Rusia	40	2747	0.30 %	0.09	1.11 %
Arabia Saudita	40	3571	2.40 %	0.84	13.51 %
Sudáfrica	40	3818	3.40 %	1.18	20.05 %
España	40	2901	-0.70 %	-0.30	-5.03 %
Suecia	40	3239	2.10 %	0.98	12.69 %
Suiza	40	2878	1.10 %	0.48	6.08 %
Tailandia	40	2525	-0.70 %	-0.32	-4.53 %
Estados Unidos	40	2643	0.90 %	0.51	4.64 %

Cuadro 5.33: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Argentina	50	3799	-1.40 %	-0.38	-8.56 %
Bahrein	50	5	0.00 %	0.16	0.00 %
Bélgica	50	4687	3.30 %	1.83	20.36 %
Brasil	50	3817	1.20 %	0.43	6.64 %
Colombia	50	5354	3.80 %	1.90	22.83 %
República Checa	50	1112	-0.40 %	-0.47	-2.82 %
Dinamarca	50	3128	1.00 %	0.48	5.27 %
Dubai	50	3821	-1.70 %	-0.57	-10.36 %
Finlandia	50	4485	0.40 %	0.15	1.40 %
Francia	50	3692	-0.20 %	-0.12	-1.84 %
Grecia	50	5026	6.50 %	1.28	42.39 %
Hong Kong	50	3221	1.90 %	0.48	9.66 %
India	50	4085	2.00 %	0.48	11.38 %
Israel	50	3962	1.50 %	0.89	8.21 %
Italia	50	4296	0.90 %	0.40	4.64 %
Japón	50	3224	2.30 %	0.85	13.46 %
Jordán	50	2757	0.20 %	0.12	0.55 %
Kuwait	50	4597	3.30 %	1.29	19.38 %
Líbano	50	182	0.70 %	3.85	4.16 %

Cuadro 5.34: Resultados obtenidos para el período 2014-2020 (50 Pairs), donde N es el número de pares; AAV Rentabilidad media anualizada; y $Profit$ es la rentabilidad para el período completo con costos de transacción.

País	N	Operación	AAV	Sharpe ratio	Profits
Mauricio	50	233	0.00 %	0.08	0.05 %
México	50	2731	-0.90 %	-0.54	-6.05 %
Marruecos	50	2496	0.20 %	0.15	0.90 %
Namibia	50	3386	1.70 %	0.72	9.72 %
Países Bajos	50	3871	1.40 %	0.65	7.73 %
Noruega	50	3640	0.50 %	0.23	2.47 %
Omán	50	1172	0.00 %	0.02	-0.13 %
Pakistán	50	3583	1.80 %	0.55	9.88 %
Palestina	50	358	0.00 %	0.04	0.03 %
Polonia	50	4355	1.30 %	0.50	6.83 %
Portugal	50	3636	0.30 %	0.08	0.87 %
Rumania	50	3263	-0.10 %	-0.04	-1.15 %
Rusia	50	3452	-0.10 %	-0.04	-1.29 %
Arabia Saudita	50	4358	1.90 %	0.75	10.83 %
Sudáfrica	50	4587	2.50 %	0.90	14.38 %
España	50	3468	-0.50 %	-0.23	-3.59 %
Suecia	50	3935	1.80 %	0.85	10.51 %
Suiza	50	3511	1.00 %	0.50	5.60 %
Tailandia	50	3215	-0.40 %	-0.22	-3.14 %
Estados Unidos	50	3102	0.60 %	0.38	2.98 %

Mirando los valores del ratio de Sharpe, se puede apreciar que Líbano (3,85) y Colombia (2,11, 1,9 y 1,84) son los países más adecuados para realizar esta inversión a través de esta estrategia de arbitraje estadístico. Sin embargo, de acuerdo con este ratio, no es recomendable invertir en países como México o Dubai con un valor de ratio de Sharpe

negativo.

Por tanto, de este análisis se desprende que esta estrategia es muy interesante de aplicar en periodos de turbulencia financiera y en mercados emergentes. Igualmente, se puede apreciar que es particularmente interesante en países como Sudáfrica, Israel, Japón, Colombia, entre otros.

Una de las premisas buscadas al aplicar el exponente de Hurst como método de selección en esta estrategia, era buscar un valor del mismo lo más pequeño posible, con el fin de cumplir con la propiedad de reversión a la media. Según lo presentado por Ramos et. al (2017) [199] para cumplir con esta propiedad, lo más lógico es buscar pares con un valor del exponente de Hurst (H) por debajo de 0.5. Nos planteamos, pues, si los resultados respaldan esta idea inicial. Es decir, hasta qué punto un par cuya serie tenga un exponente de Hurst bajo, luego será adecuado para una estrategia de reversión a la media y si el valor de H influye en la rentabilidad obtenida con el par. Para ello, estudiamos la rentabilidad de las operaciones realizadas en función del exponente de Hurst que tenía el par en su momento de selección.

En este caso, se demuestra que, efectivamente, a menor valor de H , mejor es la rentabilidad de los pares seleccionados.

Las figuras 5.4, 5.5 y 5.6 muestran la relación entre el valor de H y la rentabilidad media obtenida para cada uno de los períodos estudiados (2000-07, 2007-14, 2014-20), en los que se incluyen todos los países estudiados en este trabajo. Se puede observar que a medida que disminuye el valor de H , la rentabilidad media aumenta para los 3 periodos estudiados, siendo significativo que en aquellos pares que se han seleccionado con un valor de 0,5 obtienen una rentabilidad media negativa. Por lo tanto, aquellos países que seleccionan a sus pares con una H cercana a 0 obtienen un rendimiento promedio más alto.

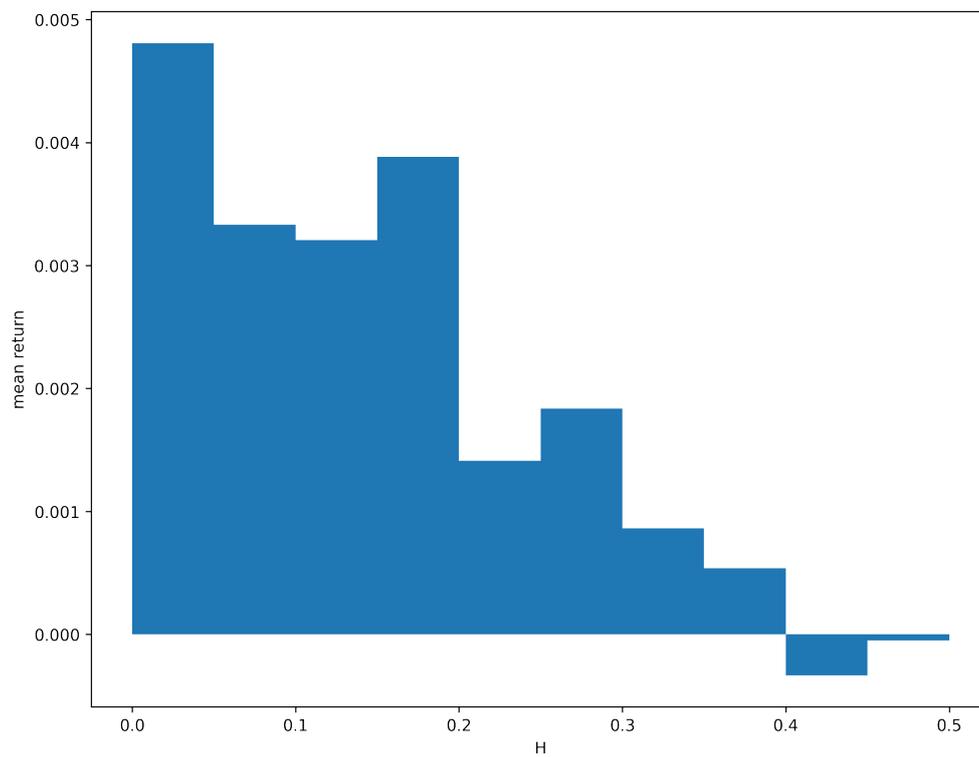


Figura 5.4: Comparación entre el valor de H y la rentabilidad media de las carteras para el período 2000-2007.

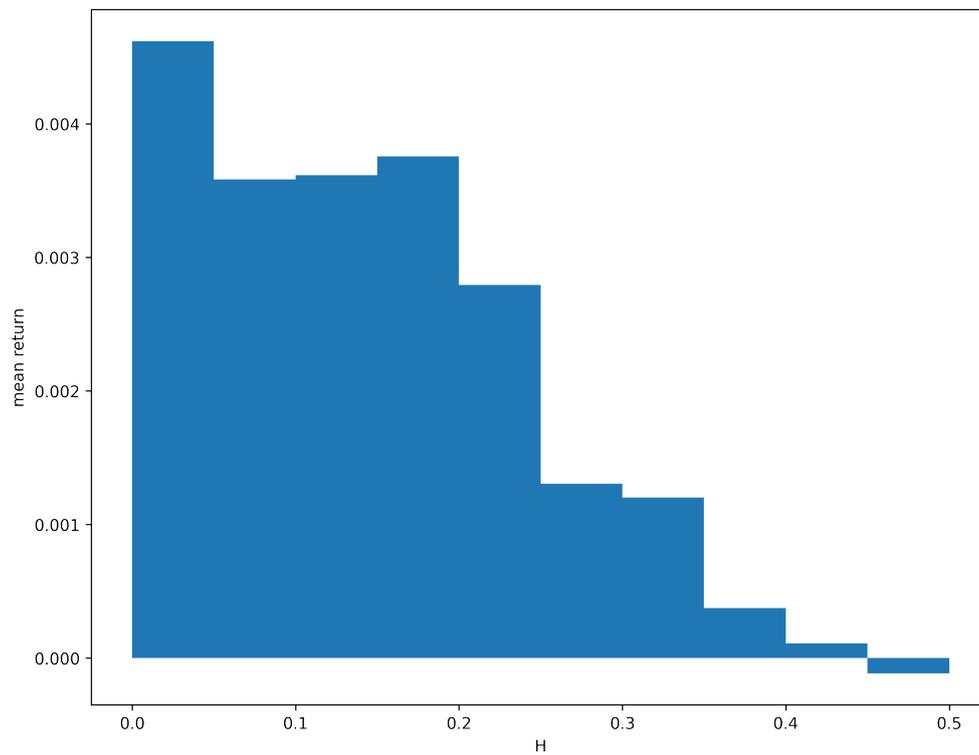


Figura 5.5: Comparación entre el valor de H y la rentabilidad media de las carteras para el período 2007-2014.

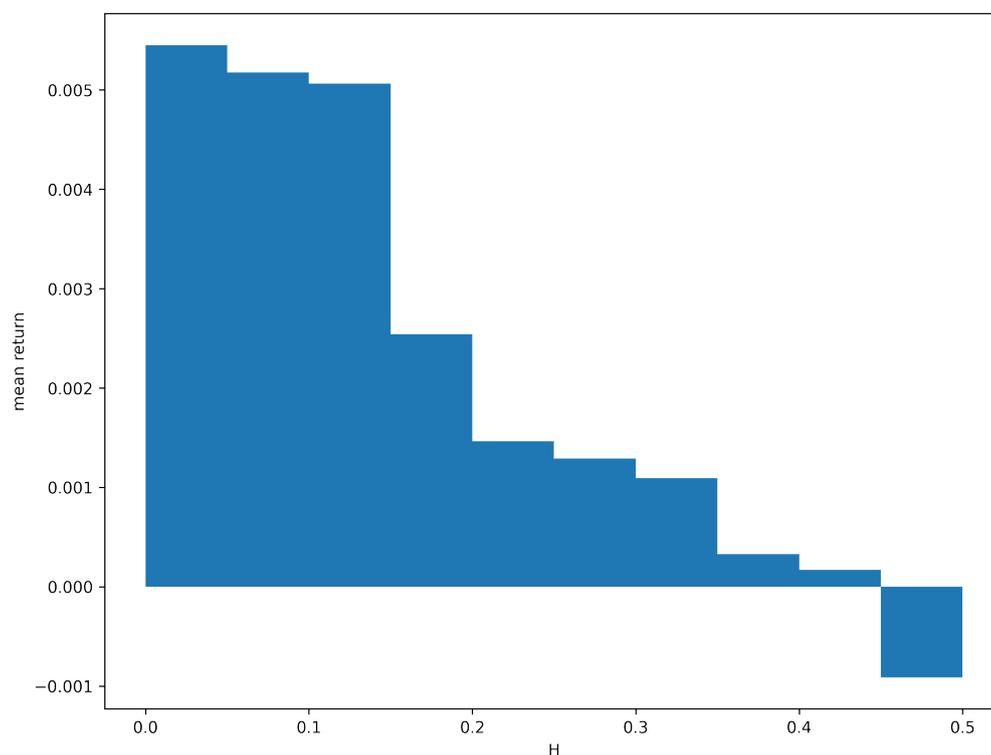


Figura 5.6: Comparación entre el valor de H y la rentabilidad media de las carteras para el período 2014-2020.

También es importante tener en cuenta que la selección de los pares basada en el exponente de Hurst se actualiza cada seis meses, sin actualizar el cálculo del exponente de Hurst. En consecuencia, los resultados son, en cierto modo, una verificación de robustez del método de selección de pares, ya que podemos ver que los pares con el menor exponente de Hurst en el pasado son aquellos para los que la estrategia de reversión a la media funciona mejor en el futuro.

En la figura 5.7 mostramos la relación entre el valor de H y el rendimiento promedio para el período 2000-07, para los países Brasil, Colombia, Israel y Arabia Saudita. Podemos ver que, para los cuatro países, si solo se seleccionaran pares con valores pequeños de H, se obtendría un mayor rendimiento. El caso de Brasil (a) es significativo, ya que pares con valores entre 0,1 y 0,2 obtendrían una rentabilidad media en torno al 1%. En el caso de

Brasil (a), Colombia (b) y Arabia Saudita (d) si el valor de H de los pares está entre 0,4 y 0,5 tendrían rendimientos negativos.

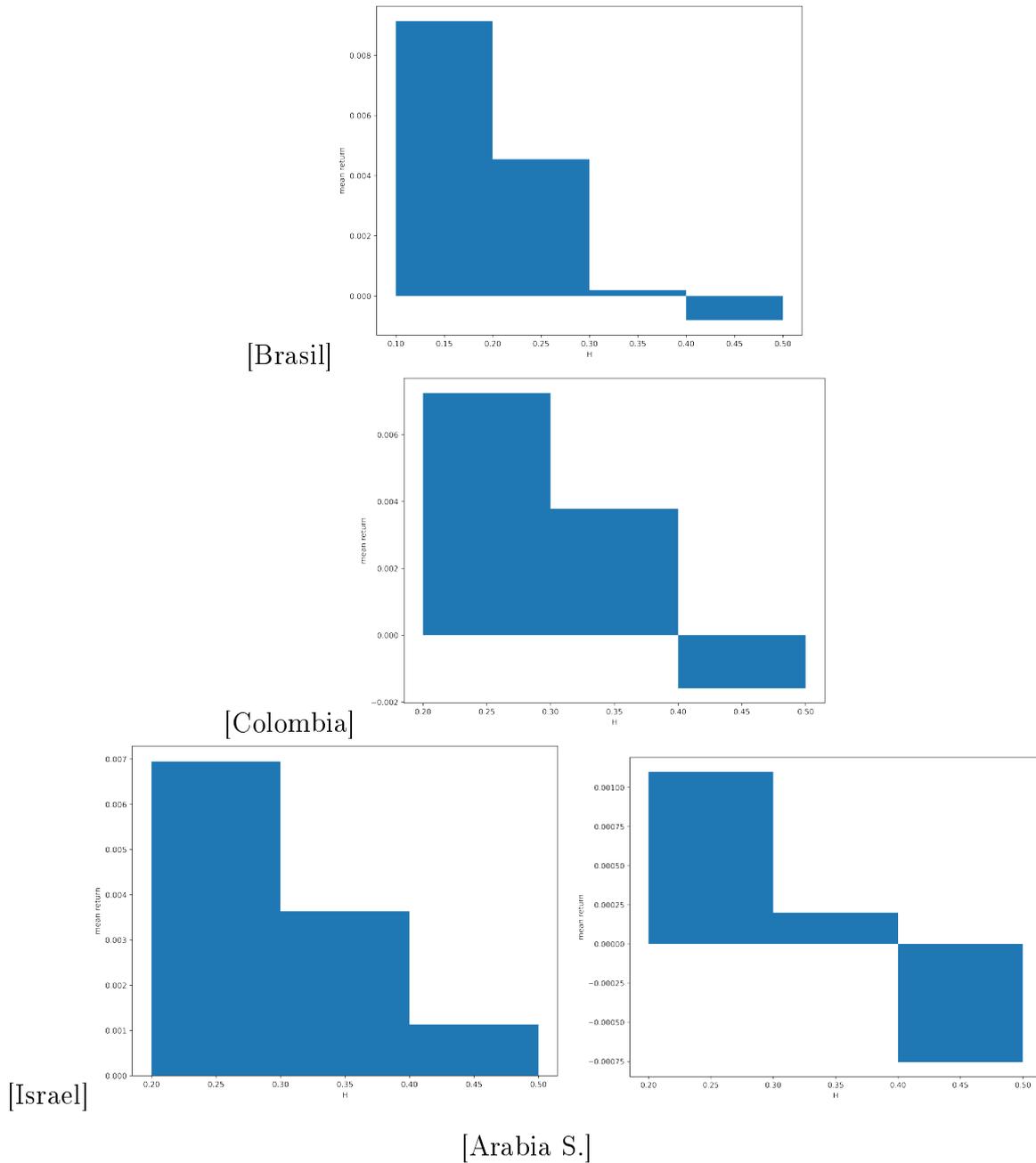


Figura 5.7: Comparación entre el valor de H y el rendimiento medio entre países para el período 2000-2007

La figura 5.8 muestra la comparación entre los rendimientos promedio y el valor de H,

para los países Brasil (a), Israel (b), México (c) y Sudáfrica (d) para el período 2007-2014. Como en el período anterior, a medida que disminuye el valor de H , aumenta el rendimiento promedio. Es significativo en el caso de Brasil y Sudáfrica que para todos los valores de H obtiene una rentabilidad positiva.

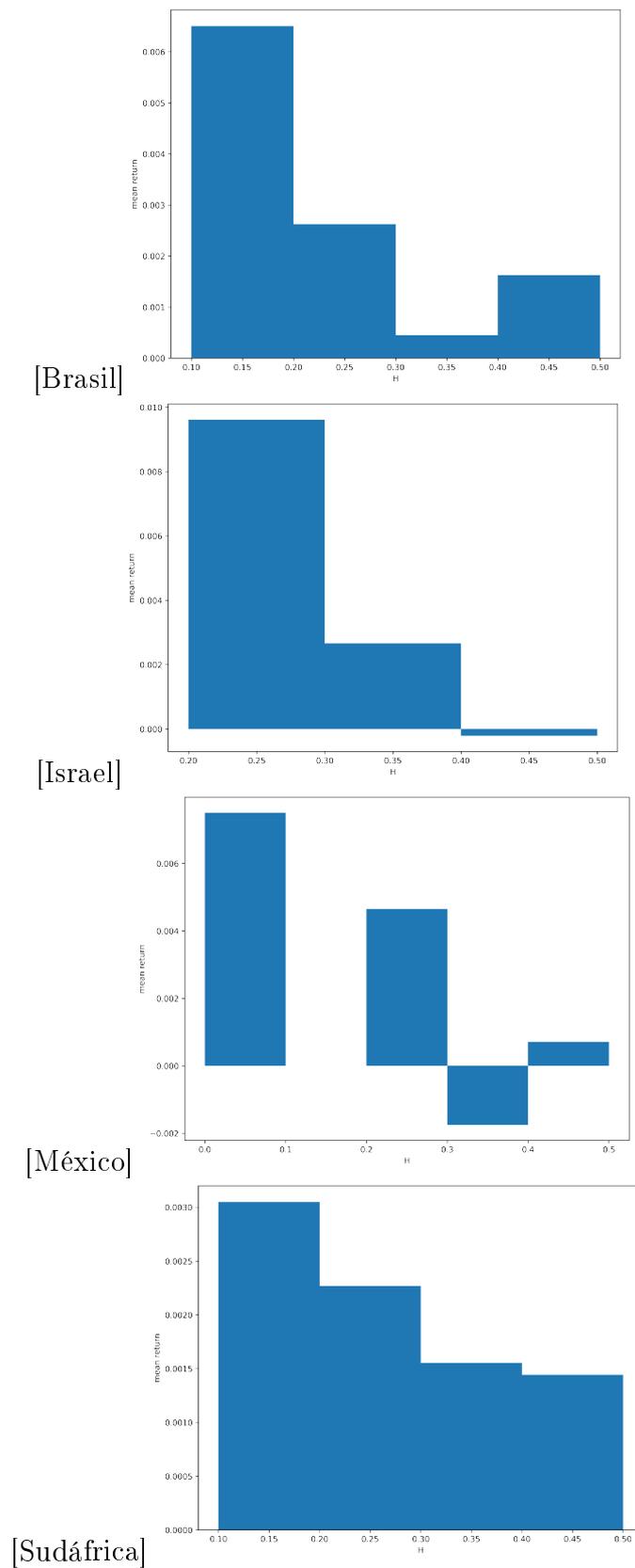


Figura 5.8: Comparación entre el valor de H y el rendimiento medio entre países para el período 2007-2014

La figura 5.9 muestra para los países Colombia (a), Pakistán (b), Tailandia (c) y Hong Kong (d) la relación entre la rentabilidad media y el valor de H para el período 2014-2020. Como hemos visto, a medida que disminuye el valor del exponente de Hurst (H), aumenta el rendimiento medio. Si observamos lo que ocurre en el caso de Tailandia, solo obtendríamos una rentabilidad media positiva si el valor de H se encuentra entre 0,2 y 0,3.

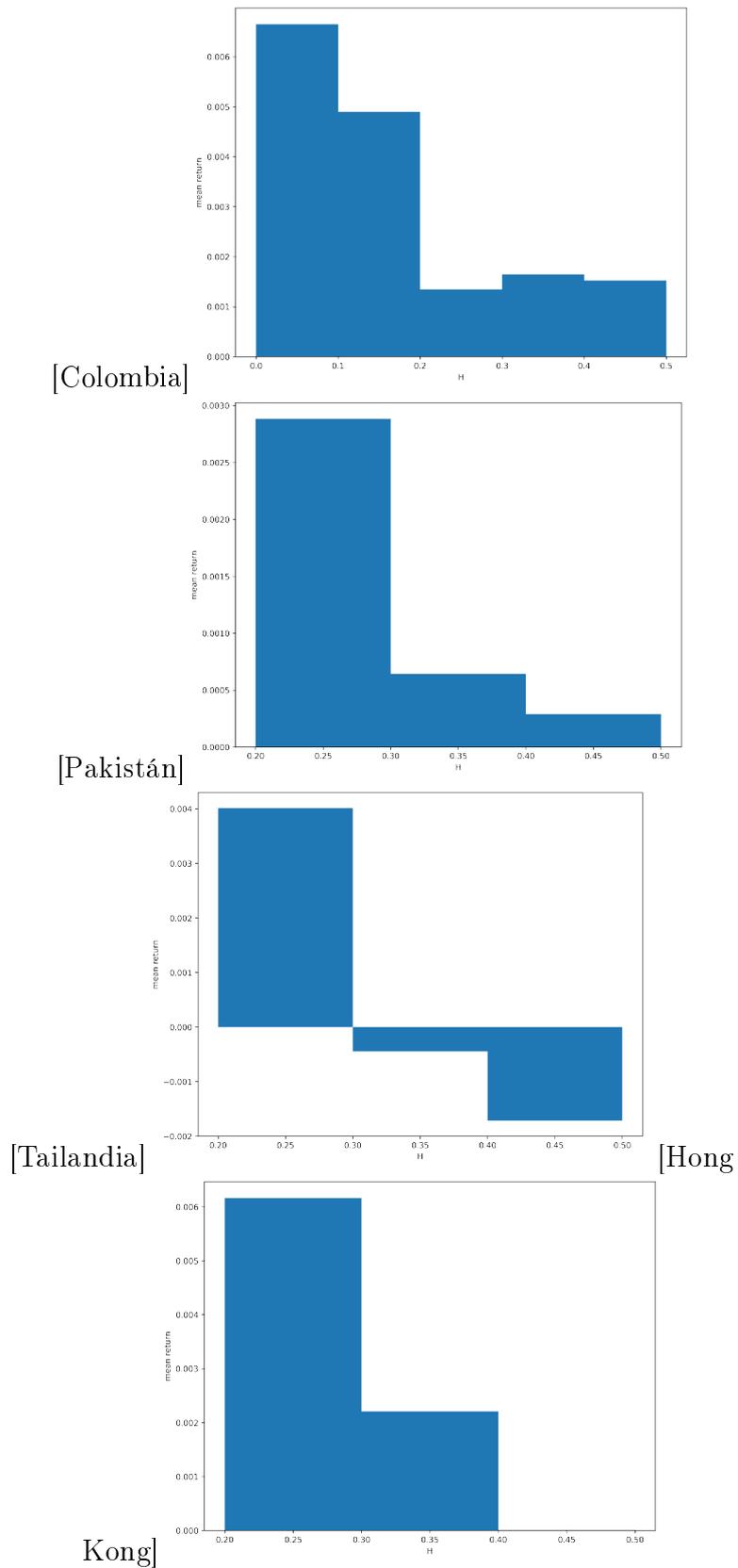


Figura 5.9: Comparación entre el valor de H y el rendimiento medio entre países para el período 2014-2020

Por tanto, de este estudio se observa que sería interesante formar los pares de acciones que componen las carteras con los valores más cercanos a 0 para el exponente de Hurst, ya que ello supondría un incremento en la rentabilidad de la inversión.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1. Principales resultados de la investigación

En este capítulo se exponen las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos del trabajo de investigación realizado sobre el desempeño de diferentes técnicas y estrategias de Pairs Trading, una de ellas basada en el exponente de Hurst (2017) [199]. El análisis se ha centrado principalmente en:

- Mercados latinoamericanos y
- Mercados emergentes y desarrollados a nivel mundial.

En primer lugar, se realizó el estudio enfocado a **mercados latinoamericanos**, donde comparamos los resultados obtenidos con las acciones del índice Nasdaq 100. Los resultados muestran que una estrategia de Pairs Trading obtiene una rentabilidad significativa en los mercados emergentes en todos los periodos considerados, lo que significa que los mercados bursátiles latinoamericanos no son eficientes en ninguno de los subperíodos considerados. Los resultados del estudio realizado a países latinoamericanos están en línea con los obtenidos por DiMatteo y otros [67], Zunino y otros (2007) [256], Cajueiro (2005) [41], Kristoufek (2014) [138] para los mercados latinoamericanos, porque el rendimiento persistente de la estrategia de Pairs Trading es una clara indicación que el mercado no es eficiente.

Por otro lado, en el caso del Nasdaq 100, la estrategia solo funciona correctamente durante el primer período. Esto también podría explicarse por la alta volatilidad del mercado en este período como consecuencia de la burbuja de las punto.com. Los resultados positivos obtenidos con las acciones de Nasdaq 100 podrían estar de acuerdo con la Hipótesis de Mercado Adaptativo (AMH) introducida por Lo (2004) [155]. El autor consideró que los mercados presentan dinámicas complejas, con ciclos, tendencias, pánicos, burbujas y desplomes, entre otros fenómenos. Lo [155] comentó que una implicación del AMH es que las estrategias de inversión también tendrán altibajos, con un buen desempeño en ciertos entornos y un desempeño deficiente en otros entornos. Esto significa que, en algunas circunstancias, las oportunidades de arbitraje son eficientes, pero también AMH implica

que tales estrategias pueden declinar por un tiempo y luego volver a ser rentables cuando regresen las condiciones ambientales. Un ejemplo es *risk arbitrage*, que no ha sido rentable durante varios años debido a la caída de la actividad de banca de inversión desde 2001. En una línea similar, Alvarez, Rodriguez y Espinoza (2012) [10] analizó la evolución de la eficiencia del Índice DJIA de 1929 a 2012 y encontró que el grado de eficiencia comienza a disminuir justo antes del año 2000.

Bajo la AMH, se acepta que las oportunidades de arbitraje aparecen de vez en cuando, porque sin tales oportunidades, no habrá incentivo para recopilar información y el aspecto de descubrimiento de precios de los mercados financieros colapsará (Grossman y Stiglitz (1980) [106]). Como señala Lo (2004) [155], desde su perspectiva evolutiva, la presencia de mercados financieros líquidos activos implica que aparecen oportunidades de lucro hasta que se explotan en gran medida. Los mercados siempre crean nuevas oportunidades de arbitraje en el momento en que otras desaparecen. Contrariamente a la EMH, en este contexto, las estrategias de inversión funcionarán bien en ciertos entornos y mal en otros. Cuando se obtiene un beneficio adecuado mediante una técnica de arbitraje estadístico nos encontramos en un mercado no eficiente, es decir la estrategia de arbitraje estadístico funciona mejor en países emergentes. Sin embargo, el arbitraje estadístico también es rentable en determinadas condiciones en los mercados desarrollados, principalmente en períodos de alta volatilidad y mercados con muchos altibajos.

En segundo lugar, se procedió el estudio en **Mercados Emergentes y desarrollados a nivel mundial**, donde encontramos que nuestra estrategia de arbitraje estadístico es consistente en los mercados emergentes y se puede obtener un beneficio significativo durante el período considerado. Este es el caso de Sudáfrica, Colombia o Líbano donde la estrategia obtiene importantes resultados. Sin embargo, en el caso de los mercados desarrollados, sólo durante períodos de alta volatilidad, como después de la crisis financiera, la estrategia funciona correctamente. Después de la crisis financiera, son varios los mercados donde el Pairs Trading da resultados significativos. Los casos de Portugal y Grecia son interesantes, que son países seriamente afectados por la crisis financiera en Europa. Estos resultados son

consistentes con los hallazgos previos de Ramos y otros (2017) [199].

Estos resultados también son consistentes con trabajos previos de DiMatteo y otros [67], Zunino y otros (2007) [256] y Kristoufek (2014) [138] y son una clara prueba del grado de ineficiencia de los mercados emergentes. Nuevamente, consideramos que la realización del arbitraje en mercados desarrollados durante períodos específicos podría considerarse una prueba de la Hipótesis de los mercados adaptativos [155].

Por otro lado, hemos estudiado el grado de incidencia que tiene el valor del exponente de Hurst sobre el desempeño de la estrategia, según lo propuesto por Ramos y otros (2017) [199]. Hemos comprobado que las principales características de la estrategia de Pairs Trading, la reversión a la media, se logra con un H bajo. Otro resultado interesante es que, cuando el valor de H se sitúa alrededor de 0,1 o 0,2, el rendimiento de la estrategia es mayor.

Para concluir, me gustaría señalar que la metodología muestra que la estrategia es robusta porque los pares con el exponente de Hurst más bajo en el pasado son aquellos en que la estrategia de reversión a la media funciona mejor en el futuro.

6.2. Limitaciones y futuras líneas de investigación

A continuación, destaco algunas posibles limitaciones de este estudio. El problema principal es que la ineficiencia de algunos mercados puede ocurrir debido a diversas fricciones del mercado. Por ejemplo:

- La prohibición de las ventas en corto en algunos países.
- Se han considerado los costes de transacción, pero no se consideró ningún costo o ingreso incurridos por las posiciones de venta corta, así como cualquier ingreso por intereses sobre efectivo no utilizado.
- Se utilizaron precios de cierre diarios para abrir o cerrar posiciones.

- Aunque se seleccionaron las acciones más capitalizadas en cada país, aún es posible que la estrategia puede afectar esos precios o incluso que aparezcan problemas de liquidez en momentos puntuales.

Por tanto, la implementación real de esta estrategia puede tener algunas dificultades y su rentabilidad puede ser menor debido a las fricciones del mercado. Para concluir, debemos de resaltar que estamos interesados principalmente en estudiar la eficiencia de los mercados.

Futuras líneas de investigación podrían ser:

- Determinar el origen de la eficiencia/ineficiencia de los mercados, así como la evolución de la misma a lo largo del tiempo.
- La inclusión de los costos de deslizamiento por operaciones así como el efecto de los tipos de cambio.
- El desarrollo de estrategias combinadas donde se mezclen países emergentes y países en desarrollo.
- La consideración de las restricciones normativas en los distintos territorios a hora de formar las carteras en el caso de que la estrategia se implante en fondos de inversión.

Capítulo 7

Bibliografía

Bibliografía

- [1] J. Aharony y I. Swary, *Quarterly dividend and earnings announcements and stockholders' returns: An empirical analysis*. The Journal of Finance 35, 1980, pp. 1-12.
- [2] F. Ahmad, M. Shahid, A. Ateeq, A. Zubair y S. ul Nazir, *Emerging Markets efficient or adaptative? Evidence from Asia*. Journal of Organizational Behavior Research 3, 2018, pp. 33-44.
- [3] M. Aitken, A. Aspris, S. Foley y F. Harris, *Market fairness: The poor country cousin of market efficiency*. Journal of Business Ethics 147, 2018, pp. 5-23.
- [4] T. Akhter y O. Yong, *Adaptive market hypothesis and momentum effect: Evidence from Dhaka Stock Exchange*. Cogent Economics & Finance 7, 2019.
- [5] J. Al-Ajmi y J. Kim, *Are Gulf stock markets efficient? Evidence from new multiple variance ratio tests*. Applied Economics 44, 2012, pp. 1737-1747.
- [6] O. Al-Khazali y A. Mirzaei, *Stock market anomalies, market efficiency and the adaptive market hypothesis: Evidence from Islamic stock indices*. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money 51, 2017, pp. 190-208.
- [7] E. Alessio, A. Carbone, G. Castelli y V. Frappietro, *Second-order moving average and scaling of stochastic time series*. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems 27, 2002, pp. 197-200.

-
- [8] C. Alexander y A. Dimitriu, *The cointegration alpha: Enhanced index tracking and long-short equity market neutral strategies*. ISMA Finance Discussion Paper, 2002.
- [9] F. Almudhaf, *Predictability, Price bubbles, and efficiency in the Indonesian stock-market*. Bulletin of Indonesian Economic Studies 54, 2018, pp. 113-124.
- [10] J. Alvarez-Ramirez, E. Rodriguez y G. Espinosa-Paredes, *Is the US stock market becoming weakly efficient over time? Evidence from 80-year-long data*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 391, 2012, pp. 5643-5647.
- [11] E. Araujo y B. Tabak, *Tests of the random walk hypothesis for equity markets: evidence from China, Hong Kong and Singapore*. Applied Economics Letters 11, 2004, pp. 255-258.
- [12] P. Asquith y D. Mullins Jr, *The impact of initiating dividend payments on shareholders' wealth*. Journal of business, 1984, pp. 77-96.
- [13] M. Avellaneda y J. Lee, *Statistical arbitrage in the US equities market*. Quantitative Finance 10, 2010, pp. 761-782.
- [14] L. Bachelier, *Théorie de la spéculation*. (Paris: Gauthier- Villars, 1900)
- [15] D. Backus y S. Zin, *Long-memory inflation uncertainty: Evidence from the term structure of interest rates*. National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA, 1993, pp. 681-700.
- [16] R. Baillie, C. Chung y M. Tieslau, *Analysing inflation by the fractionally integrated ARFIMA-GARCH model*. Journal of applied econometrics, 1996, pp. 23-40)
- [17] K. Balladares, J. Ramos, J. Trinidad y M. Sánchez, *Statistical Arbitrage in Emerging Markets: A Global Test of Efficiency*. Mathematics 9, 2021, pp. 179.
- [18] A. Barabási y T. Vicsek, *Multifractality of self-affine fractals*. Physical Review A 44, 1991, pp. 2730.

-
- [19] B. Barber y T. Odean, *Boys will be boys: Gender, overconfidence, and common stock investment*. The quarterly journal of economics 116, 2001, pp. 261-292.
- [20] A. Bariviera, *The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach*. Economics Letters 161, 2017, pp. 1-4.
- [21] F. Barna, D. Ștefana Maria y L. Pașca, *Fractal Market Hypothesis: The Emergent Financial Markets Case*. Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research 50, 2016, pp. 137-150.
- [22] S. Baronyan, I. Bodurođlu, y E. Şener, *Investigation of stochastic pairs trading strategies under different volatility regimes*. The Manchester School 78, 2010, pp. 114-134.
- [23] L. Barret, R. Dunbar y J. Lycett, *Human evolutionary psychology*. Princeton University Press, 2002.
- [24] J. Barunik y L. Kristoufek, *On Hurst exponent estimation under heavy-tailed distributions*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 389, 2010, pp. 3844-3855.
- [25] M. Beben y A. Orłowski, *Correlations in financial time series: established versus emerging markets*. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems 20, 2001, pp. 527-530.
- [26] D. Bell, *Risk premiums for decision regret*. Management Science 29, 1983, pp. 1156-1166.
- [27] A. Bensaïda, *Noisy chaos in intraday financial data: Evidence from the American index*. Applied Mathematics and Computation 226, 2014, pp. 258-265.
- [28] S. Bentes, R. Menezes y D. Mendes, *Long memory and volatility clustering: Is the empirical evidence consistent across stock markets?* Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 387, 2008, pp. 3826-3830.
- [29] W. Bertram, *Analytic solutions for optimal statistical arbitrage trading*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 389, 2010, pp. 2234-2243.

- [30] F. Black, *Noise*. The journal of finance 41, 1986, pp. 528-543.
- [31] I. Boboc y M. Dinică, *An algorithm for testing the efficient market hypothesis*. PLoS One 8, 2013, pp. e78177.
- [32] M. Bock y R. Mestel, *A regime-switching relative value arbitrage rule*. Operations research proceedings 2008, pp. 9-14.
- [33] O. Bondarenko, *Statistical arbitrage and securities prices*. The Review of Financial Studies 16, 2003, pp. 875-919.
- [34] D. Bowen, M. Hutchinson y N. O'Sullivan, *High-frequency equity pairs trading: transaction costs, speed of execution, and patterns in returns*. The Journal of Trading 5, 2010, pp. 31-38.
- [35] C. Boya *From efficient markets to adaptive markets: Evidence from the French stock exchange*. Research in International Business and Finance 49, 2019, pp. 156-165.
- [36] A. Brauneis y R. Mestel, *Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond*. Economics Letters 165, 2018, pp. 58-61.
- [37] M. Brennan y E. Schwartz, *Arbitrage in stock index futures*. The Journal of Business 63, 1990, pp. S7-S31.
- [38] E. Brito, S. Coronado, M. Morales y O. Rojas, *Adaptive efficiency of the Mexican Stock Exchange*. Academia Revista Latinoamericana de Administración, 2018.
- [39] A. Burgess, *Using cointegration to hedge and trade international equities*. Applied Quantitative Methods for Trading and Investment. John Wiley & Sons, Chichester, 2003, pp. 41-69.
- [40] D. Cajueiro y B. Tabak, *The Hurst exponent over time: testing the assertion that emerging markets are becoming more efficient*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 336, 2004, pp. 521-537.

-
- [41] D. Cajueiro y B. Tabak, *Ranking efficiency for emerging equity markets II*. *Chaos, Solitons & Fractals* 23, 2005, pp. 671-675.
- [42] J. Caldeira y G. Moura, *Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy*. Available at SSRN 2196391, 2013.
- [43] L. Calvet y A. Fisher, *Multifractal volatility: theory, forecasting and pricing*. Academic Press, 2008.
- [44] J. Campbell, A. Lo y A. Mackinlay, *The econometrics of financial markets*. (Princeton University Press: 1997).
- [45] G. Caporale, L. Gil-Alana y A. Plastun, *Persistence in the cryptocurrency market*. *Research in International Business and Finance* 46, 2018, pp. 141-148.
- [46] W. Chan, R. Jha y M. Kalimipalli, *The economic value of using realized*. *Journal of Financial Research* 32, 2009, pp. 231-259.
- [47] L. Charfeddine y K. Khediri, *Time varying market efficiency of the GCC stock markets*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 444, 2016, pp. 487-504.
- [48] L. Charfeddine, K. Khediri, G. Aye y R. Gupta, *Time-varying efficiency of developed and emerging bond markets: Evidence from long-spans of historical data*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 505, 2018, pp. 632-647.
- [49] A. Charles y O. Darné, *The random walk hypothesis for Chinese stock markets: Evidence from variance ratio tests*. *Economic Systems* 33, 2009, pp. 117-126.
- [50] A. Charles, O. Darné y J. Kim, *Adaptive markets hypothesis for Islamic stock indices: Evidence from Dow Jones size and sector-indices*. *International economics* 151, 2017, pp. 100-112.
- [51] C. Chen, M. Chen y S. Chen, *Pairs trading via three-regime threshold autoregressive GARCH models*. *Modeling dependence in econometrics*, 2014, pp. 127-140.

- [52] H. Chen, S. Chen, Z. Chen y F. Li, *Empirical investigation of an equity pairs trading strategy*. Management Science 65, 2019, pp. 370-389.
- [53] J. Chu, Y. Zhang, y S. Chan, *The adaptive market hypothesis in the high frequency cryptocurrency market*. International Review of Financial Analysis 64, 2019, pp. 221-231.
- [54] R. Clarke, S. Krase y M. Statman, *Tracking errors, regret, and tactical asset allocation*. Journal of Portfolio Management 20, 1994, pp. 16.
- [55] D. Conniffe y J. Spencer, *Approximating the Distribution of the R/S statistic*. Economic and Social Review 31, 2000, pp.237-248.
- [56] P. Cootner, *The random character of stock market prices*. 1967.
- [57] B.Cornell y A. Shapiro, *The mispricing of US Treasury bonds: A case study*. The Review of financial studies 2, 1989, pp. 297-310.
- [58] M. Couillard y M. Davison, *A comment on measuring the Hurst exponent of financial time series*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 348, 2005, pp. 404-418.
- [59] J. Cromwell, W. Labys y E. Kouassi, *What color are commodity prices? A fractal analysis*. Empirical Economics 25, 2000, pp. 563-580.
- [60] M. Cummins y A. Bucca, *Quantitative spread trading on crude oil and refined products markets*. Quantitative Finance 12, 2012, pp. 1857-1875.
- [61] A. Damasio, *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*, Picador. Avon books, A division of The Hearst Corporation. New York, 1994.
- [62] A. Das y P. Das, *Does composite index of NYSE represents chaos in the long time scale?* Applied mathematics and computation 174, 2006, pp. 483-48.
- [63] M. Davis y A. Etheridge, *Louis Bachelier's theory of speculation: the origins of modern finance*. Bull. Amer. Math. Soc 45, 2008, pp. 657-660.

- [64] W. De Bondt y R. Thaler, *Does the stock market overreact?* The Journal of finance 40, 1985, pp. 793-805.
- [65] J. De Long, A. Shleifer, L. Summers, R. Waldmann, *Positive feedback investment strategies and destabilizing rational speculation.* Journal of Finance 45, 1990, pp. 379-395.
- [66] J. De Long, A. Shleifer, L. Summers, R. Waldmann, *Noise trader risk in financial markets.* Journal of political Economy 98, 1990, pp. 703-738.
- [67] T. Di Matteo, T. Aste y M. Dacorogna, *Long-term memories of developed and emerging markets: Using the scaling analysis to characterize their stage of development.* Journal of Banking & Finance 29, 2005, pp. 827-851.
- [68] F. Diebold y G. Rudebusch, *Long memory and persistence in aggregate output.* Journal of monetary economics 24, 1989, pp. 189-209.
- [69] V. Dimitrova, M. Fernández-Martínez, M. Sánchez-Granero y J. Trinidad Segovia, *Some comments on Bitcoin market (in) efficiency.* PloS one, 2019.
- [70] B. Do, R. Faff y K. Hamza, *A new approach to modeling and estimation for pairs trading.* Proceedings of 2006 financial management association European conference 1, 2006, pp. 87-99.
- [71] B. Do y R. Faff, *Does simple pairs trading still work?* Financial Analysts Journal 66, 2010, pp. 83-95.
- [72] B. Do y R. Faff, *Are pairs trading profits robust to trading costs?* Journal of Financial Research 35, 2012, pp. 261-287.
- [73] C. Dunis y R. Ho, *Cointegration portfolios of European equities for index tracking and market neutral strategies.* Journal of Asset Management 6, 2005, pp. 33-52.

- [74] C. Dunis, G. Giorgioni, J. Laws y J. Rudy, *Statistical arbitrage and high-frequency data with an application to Eurostoxx 50 equities*. Liverpool Business School, Working paper, 2010.
- [75] D. Ehrman, *The handbook of pairs trading: strategies using equities, options, and futures*. 240, 2006.
- [76] R. Elliott, J. Van Der Hoek* y W. Malcolm, *Pairs trading*. Quantitative Finance 5, 2005, pp. 271-276.
- [77] R. Engle y C. Granger, *Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing*. Econometrica: journal of the Econometric Society, 1987, pp. 251-276.
- [78] E. Fama, *The behavior of stock-market prices*. The journal of Business 38, 1965, pp. 34-105.
- [79] E. Fama y K. French, *Dividend yields and expected stock returns*. Journal of financial economics 22, 1988, pp. 3-25.
- [80] E. Fama, *Efficient capital markets: II*. The journal of finance 46, 1991, pp. 1575-1617.
- [81] E. Fama, *Market efficiency, long-term returns, and behavioral finance*. Journal of financial economics 49, 1998, pp. 283-306.
- [82] E. Fama y M. Blume, *Filter rules and stock-market trading*. The Journal of Business 39, 1966, pp. 226-241.
- [83] E. Fama *Efficient capital markets: A review of theory and empirical work*. The journal of Financial 25, 1970, pp. 383-417.
- [84] J. Farmer, *Market force, ecology and evolution*. Industrial and Corporate Change 11, 2002, pp. 895-953.

- [85] M. Fernández, M. Sanchez y J. Trinidad, *Measuring the self-similarity exponent in Lévy stable processes of financial time series*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 392, 2013, pp. 5330-5345.
- [86] M. Fernández, M. Sánchez, J. Trinidad e I. Román, *An accurate algorithm to calculate the Hurst exponent of self-similar processes*. Physics Letters A. vol. 378, 2014, pp. 2355-2362.
- [87] M. Fernández y MA. Sánchez, *Fractal dimension for fractal structures: A Hausdorff approach revisited*. Journal of Mathematical Analysis and Applications 409, 2014, pp. 321-330.
- [88] A. Fernández-Pérez, Ainhoa y M. López-García y J. Ramos-Requena, *On the sensibility of the Pairs Trading strategy: The case of the FTS stock market index*. Studies of Applied Economics 38, 2020.
- [89] L. Ferreira, *New tools for spread trading*. Futures 37, 2008, pp. 38-41.
- [90] P. Ferreira, A. Dionisio y S. Movahed, *Assessment of 48 Stock markets using adaptive multifractal approach*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 486, 2017, pp. 730-750.
- [91] P. Ferreira, A. Dionísio, y J. Correia, *Non-linear dependencies in African stock markets: Was subprime crisis an important factor?* Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications 505, 2018, pp. 680-687.
- [92] P. Ferreira y A. Dionisio, *How long is the memory of the US stock market?*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 451, 2016, pp. 502-506.
- [93] S. Fifield y J. Jetty, *Further evidence on the efficiency of the Chinese stock markets: A note*. Research in International Business and Finance 22, 2008, pp. 351-361.
- [94] B. Fischhoff y P. Slovic, *A Little Learning... Confidence in Multicue Judgment Tasks*390664. Decision and Designs Research, 1978.

- [95] S. Focardi, F. Fabozzi e I. Mitov, *A new approach to statistical arbitrage: Strategies based on dynamic factor models of prices and their performance*. Journal of Banking & Finance 65, 2016, pp. 134-155.
- [96] K. Froot y E. Dabora, *How are stock prices affected by the location of trade?* Journal of financial economics, 1999, pp. 189-216.
- [97] A. Galenko, E. Popova e I. Popova, *Trading in the presence of cointegration*. The Journal of Alternative Investments 15, 2012, 85-97.
- [98] E. Gatev, W. Goetzmann y K. Rouwenhorst, *Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule*. The Review of Financial Studies 19, 2006, pp. 797-827.
- [99] S. Gervais y T. Odean, *Learning to be overconfident*. The Review of Financial Studies 14, 2001, pp. 1-27.
- [100] J. Geweke y S. Porter-Judak, *The estimation and application of long memory time series models*. Journal of time series analysis 4, 1983, 221-238.
- [101] M. Ghazani y S. Ebrahimi, *Testing the adaptive market hypothesis as an evolutionary perspective on market efficiency: Evidence from the crude oil prices*. Finance Research Letters 30, 2019, 60-38.
- [102] A. Göncü y E. Akyıldırım, *Statistical arbitrage with pairs trading*. International Review of Finance 16, 2016, pp. 307-319.
- [103] M. Granero, M. Sánchez y J. Trinidad, *Some comments on Hurst exponent and the long memory processes on capital markets*. Physica A: Statistical Mechanics and its applications 387, 2008, pp. 5543-5551.
- [104] S. Grossman, *On the efficiency of competitive stock markets where trades have diverse information*. The Journal of finance 31, 1976, 573-585.
- [105] S. Grossman y J. Stiglitz, *Information and competitive price systems*. The American Economic Review 66, 1976, pp. 246-253.

- [106] S. Grossman y J. Stiglitz, *On the impossibility of informationally efficient markets*. The American economic review 70, 1980, pp. 393-408.
- [107] B. Grundy y M. Spencer, *Understanding the nature of the risks and the source of the rewards to momentum investing*. The Review of Financial Studies 14, 2001, pp. 29-78.
- [108] S. Haque y A. Haque, *Pairs trading strategy in dhaka stock exchange: Implementation and profitability analysis*. Asian Economic and Financial Review 4, 2014, pp. 1091.
- [109] J. Haslett y A. Raftery, *Space-time modelling with long-memory dependence: Assessing Irelands wind power resource*. Applied Statistics, 1989, pp. 1-50.
- [110] U. Hassler, *(Mis) specification of long memory in seasonal time series*. Journal of Time Series Analysis 15, 1994, pp. 19-30
- [111] U. Hassler y J. Wolters, *Long memory in inflation rates: International evidence*. Journal of Business & Economic Statistics 13, 1995, pp. 37-45
- [112] A. Heymans y L. Santana, *How efficient is the Johannesburg Stock Exchange really?* South African Journal of Economic and Management Sciences 21, 2018, pp. 1-14.
- [113] G. Hiremath y J. Kumari, *Stock returns predictability and the adaptive market hypothesis in emerging markets: evidence from India*. SpringerPlus 3, 2014, pp. 428.
- [114] S. Hogan, R. Jarrow, M. Teo y M. Warachka, *Testing market efficiency using statistical arbitrage with applications to momentum and value strategies*. Journal of Financial economics 73, 2004, pp. 525-565.
- [115] N. Huck, *Pairs selection and outranking: An application to the S&P 100 index*. European Journal of Operational Research 196, 2009, pp. 819-825.
- [116] N. Huck *Pairs trading and outranking: The multi-step-ahead forecasting case*. European Journal of Operational Research 3, 2010, pp. 1702-1716.

- [117] N. Huck y K. Afawubo, *Pairs trading and selection methods: is cointegration superior?* Applied Economics 47, 2015, pp. 599-613.
- [118] H. Hurst, *Long-term storage capacity of reservoirs*. Trans. Amer. Soc. Civil Eng. 116, 1951, pp. 770-808.
- [119] R. Jarrow, *Finance theory*, 1988.
- [120] N. Jegadeesh, *Evidence of predictable behavior of security returns*. The Journal of finance 45, 1990, pp. 881-898.
- [121] N. Jegadeesh y S. Titman, *Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency*. The Journal of finance 48, 1993, pp. 65-91.
- [122] Y. Jiang, H. Nie y W. Ruan, *Time-varying long-term memory in Bitcoin market*. Finance Research Letters 25, 2018, pp. 280-284.
- [123] J. Jurek y H. Yang, *Dynamic portfolio selection in arbitrage*. EFA 2006 Meetings Paper, 2007.
- [124] D. Kahneman, S. Slovic, P. Slovic y A. Tversky, *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge university press, 1982.
- [125] A. Kalay y U. Loewenstein, *The informational content of the timing of dividend announcements*. Journal of Financial Economics 16, 1986, pp. 373-388.
- [126] J. Kantelhardt, S. Zschiegner, E. Koscielny-Bude, S. Havlin, A. Bunde y H. Stanley, *Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 316, 2002, pp. 87-114.
- [127] A. Khandani y A. Lo, *What happened to the quants in August 2007?* Available at SSRN 1015987, 2007.
- [128] S. Khuntia y JK Pattanayak, *Adaptive market hypothesis and evolving predictability of bitcoin*. Economics Letters 167, 2018, pp. 26-28.

-
- [129] S. Khuntia y JK Pattanayak, *Evolving Efficiency of Exchange Rate Movement: An Evidence from Indian Foreign Exchange Market*. Global Business Review, 2019.
- [130] A. Khursheed, M. Naeem, S. Ahmed y F. Mustafa, *Adaptive market hypothesis: An empirical analysis of time-varying market efficiency of cryptocurrencies*. Cogent Economics & Finance 8, 2020.
- [131] Y. Kilic, *Adaptive Market Hypothesis: Evidence from the Turkey Stock Market*. Journal of Applied Economics and business research 10, 2020, pp. 28-39.
- [132] T. Kleinow, *Testing continuous time models in financial markets*. Tesis Doctoral. Humboldt-Universität zu Berlin, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät. 2002.
- [133] R. Korajczyk y R. Sadka, *Are momentum profits robust to trading costs?* The Journal of Finance, 2004, pp. 1039-1082.
- [134] C. Krauss y Stübinger, *Non-linear dependence modelling with bivariate copulas: Statistical arbitrage pairs trading on the S&P 100*. Applied Economics 49, 2017, pp. 5352–5369.
- [135] C. Krauss, *Statistical arbitrage pairs trading strategies: Review and outlook*. Journal of Economic Surveys 31, 2017, pp. 513-545.
- [136] L. Kristoufek, *Fractal markets hypothesis and the global financial crisis: Scaling, investment horizons and liquidity*. Advances in Complex Systems 15 (6), 2012, 1240065.
- [137] L. Kristoufek y M. Vosvrda, *Measuring capital market efficiency: Global and local correlations structure*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 392, 2013, pp. 184-193.
- [138] L. Kristoufek y M. Vosvrda, *Measuring capital market efficiency: long-term memory, fractal dimension and approximate entropy*. The European Physical Journal B 87, 2014, pp. 162.

- [139] G. Kulikov, D. Taylor y M. Kulikova, *A nonlinear Bayesian filtering approach to estimating adaptive market efficiency*. Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling 34, 2019, pp. 31-42.
- [140] A. Kumar y K. Bandi, *Explaining financial crisis by fractal market hypothesis: Evidences from Indian Equity Markets*. Hyperion International Journal of Econophysics. New Economy 8, 2015.
- [141] S. Kushwah, P. Negi y A. Sharma, *The random character of stock market prices: A study of Indian stock exchange*. Integral Review: A Journal of Management, 6, 2013.
- [142] D. Laibson, *Golden eggs and hyperbolic discounting*. The Quarterly Journal of Economics 112, 1997, pp. 443-478.
- [143] O. Lamont y R. Thaler, *Anomalies: The law of one price in financial markets*. Journal of Economic Perspectives 17, 2003, pp. 191-202.
- [144] K. Law, W. Li, Wai y L. Philip, *A single-stage approach for cointegration-based pairs trading*. Finance Research Letters 26, 2018, 177-184.
- [145] V. Le Tran y T. Leirvik, *A simple but powerful measure of market efficiency*. Finance Research Letters 29, 2019, pp. 141-151.
- [146] Y. Li y K. Law, *Systematic risk in pairs trading and dynamic parameterization*. Economics Letters 202, 2021.
- [147] S. Lichtenstein, B. Fischhoff y L. Phillips, *Calibration of probabilities: The state of the art*. Decision making and change in human affairs, 1977, pp. 275-324.
- [148] R. Liew y Y. Wu, *Pairs trading: A copula approach*. Journal of Derivatives & Hedge Funds 19, 2013, pp. 12-30.
- [149] K. Lim, W. Luo y J. Kim, *Are US stock index returns predictable? Evidence from automatic autocorrelation-based tests*. Applied Economics 45, 2013, pp. 953-962.

- [150] K. Lim, *Ranking market efficiency for stock markets: A nonlinear perspective*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 376, 2007, pp. 445-454.
- [151] Y. Lin, M. McCRAE y Ch. Gulati, *Loss protection in pairs trading through minimum profit bounds: A cointegration approach*. Advances in Decision Sciences, 2006.
- [152] J. Liu y A. Timmermann, *Optimal convergence trade strategies*. The Review of Financial Studies 26, 2013, pp. 1048-1086.
- [153] B. Liu, L. Chang, y H. Geman, *Intraday pairs trading strategies on high frequency data: The case of oil companies*. Quantitative Finance 17, 2017, pp. 87-100.
- [154] A. Lo y A. MacKinlay, *Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test*. The review of financial studies 1, 1988, pp. 41-66.
- [155] A. Lo, *The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective*. 30, 2004, 15-29.
- [156] A. Lo, *Long-term memory in stock market prices*. Econometrica 59, 1989, pp. 1279-1313.
- [157] A. Lo, *Adaptive markets and the new world order*. Financial Analysts Journal 68, 18-29.
- [158] A. Lo y H. de la Miyar, *La Vertiginosa adaptabilidad de los mercados financieros: una explicación evolutiva*. Antoni Bosch Editor, 2018.
- [159] A. Lo, *Reconciling efficient markets with behavioral finance: the adaptive markets hypothesis*. Journal of investment consulting 7, 2005, pp. 21-44.
- [160] T. Lux, *Long-term stochastic dependence in financial prices: evidence from the German stock market (2010)*. Applied Economics Letters 3, pp. 701-706.
- [161] B. Malkiel y E. Fama, *Efficient capital markets: A review of theory and empirical work*. The journal of Financial 25, 1970, pp. 383-417.

- [162] V. Manahov y R. Hudson, *A note on the relationship between market efficiency and adaptability—New evidence from artificial stock markets*. Expert Systems with Applications 41, 2014, pp. 7436-7454.
- [163] V. Manahov, R. Hudson y A. Urquhart, *High-frequency trading from an evolutionary perspective: Financial markets as adaptive systems*. International Journal of Finance & Economics 24, 2019, pp. 943-962.
- [164] B. Malkiel, *The valuation of closed-end investment-company shares*. The Journal of Finance 32, 1977, pp. 847-859.
- [165] B. Malkiel, *The efficient market hypothesis and its critics*. Journal of economic perspectives 17, 2003, pp. 59-82.
- [166] B. Mandelbrot, *Forecasts of future prices, unbiased markets, and "martingale" models*. The Journal of Business 39, 1966, pp. 242-255.
- [167] B. Mandelbrot, *Fractal and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration*. 2013.
- [168] B. Mandelbrot y J. Wallis, *Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long run statistical dependence*. Water Resources Research 5, 1969, pp. 967-988.
- [169] B. Mandelbrot, *When can price be arbitrated efficiently? A limit to the validity of the random walk and martingale models*. The Review of Economics and Statistics, 1971, pp. 225-236.
- [170] B. Mandelbrot, *Statistical methodology for nonperiodic cycles: from the covariance to R/S analysis*. Annals of Economic and Social Measurement, 1, (3), 1972, pp.259-290.
- [171] B. Mandelbrot, *The variation of certain speculative prices*. Fractals and scaling in finance 1963, pp. 371-418.
- [172] M. Mangel, C. Clark, *Dynamic modeling in behavioral ecology*. Princeton University Press 63, 1988.

- [173] G. Mateus, E. Oswaldo y P. Ávila, D. Hernán y A. Ortiz, *Financial markets, efficiency and adaptation*. Universidad de La Salle. Revistas Equidad & Desarrollo, 2017.
- [174] M. Metghalchi, J. Marcucci y Y. Chang, *Are moving average trading rules profitable? Evidence from the European stock markets*. Applied Economics 44, 2012, pp.1539-1559.
- [175] R. Michaely, R. Thaler y K. Womack, *Price reactions to dividend initiations and omissions: Overreaction or drift?* The Journal of Finance 50, 1995, pp. 573-608.
- [176] M. Mitchell, T. Pulvino y E. Stafford, *Limited arbitrage in equity markets*. Harvard Business School working paper, 2000.
- [177] M. Mitchell y T. Pulvino, *Characteristics of risk and return in risk arbitrage*. The Journal of Finance 56, 2001, pp. 2135-2175.
- [178] Ch. Mlambo y N. Biekpe, *The efficient market hypothesis: Evidence from ten African stock markets*. Investment Analysts Journal 36, 2007, pp. 5-17.
- [179] A. Moore, *A statistical analysis of common stock prices*, 1962.
- [180] V. Mushinada, *Are individual investors irrational or adaptive to market dynamics?* Journal of Behavioral and Experimental Finance 25, 2020.
- [181] C. Neely, P. Weller y J. Ulrich, *The adaptive markets hypothesis: evidence from the foreign exchange market*. Journal of Financial and Quantitative Analysis 44, 2009, pp. 467-488.
- [182] V. Nikolova, J. Trinidad Segovia, M. Fernández-Martínez y M. Sánchez-Granero, *A Novel Methodology to Calculate the Probability of Volatility Clusters in Financial Series: An Application to Cryptocurrency Markets*. Mathematics 8, 2020, pp. 1216.
- [183] M. Noakes y K. Rajaratnam, *Testing market efficiency on the Johannesburg Stock Exchange using the overlapping serial test*. Annals of Operations Research 243, 2016, pp. 273-300.

- [184] A. Noda, *On the evolution of cryptocurrency market efficiency*. Applied Economics Letters, 2020, pp. 1-7.
- [185] A. Noda, *A test of the adaptive market hypothesis using a time-varying AR model in Japan*. Finance Research Letters 17, 2016, pp. 66-71.
- [186] E. Numapau, *A reality check for data snooping*. Econometrica 68, 2000, pp. 1097-1126.
- [187] A. Obalade y P. Muzindutsi, *Calendar Anomalies, Market Regimes, and the Adaptive Market Hypothesis in African Stock Markets*. Central European Management Journal 27, 2019, pp. 71-94.
- [188] T. Odean, *Are investors reluctant to realize their losses?* The Journal of finance 53, 1998, pp. 1775-1798.
- [189] D. Olson, *Have trading rule profits in the currency markets declined over time?* Journal of banking & Finance 28, 2004, pp. 85-105.
- [190] E. Onali y J. Goddard, *Are European equity markets efficient? New evidence from fractal analysis*. International Review of Financial Analysis 20, 2011, pp. 59-67.
- [191] M. Osborne, *Brownian motion in the stock market*. Operations research, 1959, pp. 145-173.
- [192] M. Perlin, *Evaluation of pairs-trading strategy at the Brazilian financial market*. Journal of Derivatives & Hedge Funds 15, 2009, pp. 122-136.
- [193] E. Peters, *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility*. 1996.
- [194] E. Peters, *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics* 24, 1994.

-
- [195] R. Pettit, *Dividend announcements, security performance, and capital market efficiency*. The Journal of Finance 27, 1972, pp. 993-1007.
- [196] S. Pinker, *How the mind works (1997/2009)*. New York, NY: WW Norton & Company, 2009.
- [197] H. Puspaningrum, Y. Lin y Ch. Gulati, *Finding the optimal pre-set boundaries for pairs trading strategy based on cointegration technique*. Journal of Statistical Theory and Practice 4, 2010, pp. 391-419.
- [198] H. Rad, R. Low y R. Faff, *The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods*. Quantitative Finance 16, 2016, pp. 1541-1558.
- [199] J. Ramos, J. Trinidad y M. Sánchez, *Introducing Hurst exponent in pair trading*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 488, 2017, pp. 39-45.
- [200] J. Ramos, J. Trinidad y M. Sánchez, *An alternative approach to measure co-movement between two time series*. Mathematics 8, 2020, pp. 261.
- [201] J. Ramos, J. Trinidad y M. Sánchez, *Some notes on the formation of a pair in pairs trading*. Mathematics 8, 2020, pp. 348.
- [202] A. Rényi, *On measures of entropy and information*, 1961.
- [203] H. Roberts, *Statistical versus clinical prediction of the stock market*, 1967.
- [204] H. Roberts, *Stock-Market "Patterns" And Financial Analysis: Methodological Suggestions*. The Journal of Finance 14, 1959, pp. 1-10.
- [205] R. Rosillo, D. De la Fuente y J. Brugos, *Technical analysis and the Spanish stock exchange: testing the RSI, MACD, momentum and stochastic rules using Spanish market companies*. Applied Economics 45, 2013, pp. 1541-1550.
- [206] L. Rosini y V. Lucrezia, *Stock returns and calendar anomalies on the London Stock Exchange in the dynamic perspective of the Adaptive Market Hypothesis: A study of*

- FTSE100 & FTSE250 indices over a ten year period*. Quantitative Finance and Economics 4, 2020, pp. 121.
- [207] SA. Ross, *The arbitrage theory of capital asset pricing*. Journal of Economic Theory, 1976.
- [208] O. Sabbaghi y N. Sabbaghi, *Market efficiency and the global financial crisis: evidence from developed markets*. Studies in Economics and Finance, 2018.
- [209] P. Samuelson, *Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly*. IMR; Industrial Management Review (pre-1986) 6, 1965, pp. 41.
- [210] M. Sanchez, J. Trinidad y J. Garcia, *Some comments on Hurst exponent and the long memory processes on capital markets*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 387, 2008, pp. 5543-5551.
- [211] M. Sánchez, M. Fernández y J. Trinidad, *Introducing fractal dimension algorithms to calculate the Hurst exponent of financial time series*. The European Physical Journal B 85, 2012, pp. 86.
- [212] M. Sanchez, M. Fernández y J. Trinidad, *Introducing fractal dimension algorithms to calculate the Hurst exponent of financial time series*. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systmes 85, 2012, pp. 1-13.
- [213] M. Sanchez, J. Trinidad, J. Garcia y M. Fernández, *The Effect of the Underlying Distribution in Hurst Exponent Estimation*. PLOS ONE 28, 2015, pp. 1-17.
- [214] M. Sánchez, K. Balladares, J. Ramos y J. Trinidad, *Testing the efficient market hypothesis in Latin American stock markets*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 540, 2020.
- [215] M. Shahid, A. Sattar, F. Aftab, A. Saeed y A. Abbas, *Month of Ramadan effect swings and market becomes adaptive*. Journal of Islamic Marketing, 2019.

- [216] M. Shahid, M. Jehanzeb, A. Abbas, A. Zubair y M. Akbar, *Predictability of precious metals and adaptive market hypothesis*. International Journal of Emerging Markets, 2019.
- [217] C. Shannon, *A Mathematical Theory of Communication*. Bell System Technical Journal 27, 1948, pp. 379-423.
- [218] G. Shea, *Uncertainty and implied variance bounds in long-memory models of the interest rate term structure*. Empirical economics 16, 1991, pp. 287-312.
- [219] H. Shefrin y M. Statman, *The disposition to sell winners too early and ride losers too long: Theory and evidence*. The Journal of finance 40, 1985, pp. 777-790.
- [220] J. Seo y S. Chai, *The role of algorithmic trading systems on stock market efficiency*. Information Systems Frontiers 15, 2013, pp. 873-888.
- [221] K. Shantha, *Individual Investors' learning behavior and its impact on their herd bias: An integrated analysis in the context of stock trading*. Sustainability 11, 2019.
- [222] A. Shleifer y R. Vishny, *The limits of arbitrage*. The Journal of finance 52, 1997, pp. 37-55.
- [223] A. Shynkevich, *Performance of technical analysis in growth and small cap segments of the US equity market*. Journal of Banking & Finance 36, 2012, pp. 193-208.
- [224] H. Simon, *Models of Bounded Rationality, vols. 1 and 2*. Economic Analysis and Public Policy, MIT Press, Cambridge, Mass, 1982.
- [225] J. Spronk y J. Trinidad, *Más de medio siglo en busca de una teoría sobre los mercados de capitales*. Estudios de Economía Aplicada 23, 2005, pp. 23.
- [226] J. Squalli, *A non-parametric assessment of weak-form efficiency in the UAE financial markets*. Applied Financial Economics 16, 2006, pp. 1365-1373.
- [227] Y. Stander, D. Marais e I. Botha, *Trading strategies with copulas*. Journal of Economic and Financial Sciences 6, 2013, pp. 83-107.

- [228] G. Stewart, H. Shefrin y otros, *Beyond Greed and Fear: Understanding Behavioral Finance and the Psychology of Investing*. Oxford University Press, 2000.
- [229] J. Stübinger y L. Schneider, *Statistical Arbitrage with Mean-Reverting Overnight Price Gaps on High-Frequency Data of the S&P 500*. Journal of Risk and Financial Management 12, 2019, pp. 51.
- [230] R. Susmel, *Eficiencia de Mercados y Predicción de Retornos*. Progresos en Finanzas, 2010, pp. 235.
- [231] M. Taqqu, V. Teverovsky y W. Willinger, *Estimators for long-range dependence: an empirical study*. Fractals 3, 1995, pp. 785-798.
- [232] N. Thomaidis, N. Kondakis y G. Dounias, *An intelligent statistical arbitrage trading system*. Hellenic Conference on Artificial Intelligence, 2006, pp. 596-599.
- [233] A. Tiwari, R. Jana, D. Das y D. Roubaud, *Informational efficiency of Bitcoin—An extension*. Economics Letters 163, 2018, pp. 106-109.
- [234] J. Trinidad, M. Fernandez y M. Sanchez, *A note on geometric method-based procedures to calculate the Hurst exponent*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 391, 2012, pp. 2209-2214.
- [235] J. Trinidad, M. Fernández y M. Sánchez, *A novel approach to detect volatility clusters in financial time series*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 535, 2019, pp. 122452.
- [236] R. Trivers, *Social Evolution The Benjamin*. Cummings Publishing Company, Inc, 1985.
- [237] D. Trung y H. Quang, *Adaptive Market Hypothesis: Evidence from the Vietnamese Stock Market*. Journal of Risk and Financial Management 12, 2019, pp. 1-16.

- [238] C. Tsallis, C. Anteneodo, L. Borland y R. Osorio, *Nonextensive statistical mechanics and economics*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 324, 2003, pp. 89-100.
- [239] A. Tversky y D. Kahneman, *Prospect theory: An analysis of decision under risk*. Econometrica 47, 1979, pp. 263-291.
- [240] A. Urquhart y R. Hudson, *Efficient or adaptive markets? Evidence from major stock markets using very long run historic data*. International Review of Financial Analysis 28, 2013, pp. 130-142.
- [241] A. Urquhart y F. McGroarty, *Are stock markets really efficient? Evidence of the adaptive market hypothesis*. International Review of Financial Analysis 47, 2016, pp. 39-49.
- [242] D. Veitch y P. Abry, *A wavelet-based joint estimator of the parameters of long-range dependence*. IEEE Transactions on Information Theory 45, 1999, pp. 878-897.
- [243] G. Vidyamurthy, *Pairs Trading: quantitative methods and analysis*, 2004, pp. 217.
- [244] R. Weron, *Estimating long-range dependence: finite sample properties and confidence intervals*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 312, 2002, pp. 285-299.
- [245] R. Weron, B. Przybyłowicz y B. Owicz, *Hurst analysis of electricity price dynamics*. Physica A 283, 2000, pp. 462-468.
- [246] A. Weron y R. Weron, *Fractal market hypothesis and two power-laws*. Chaos, Solitons & Fractals 11, 2000, pp. 289-296.
- [247] H. White, *Sociobiology: The new synthesis*. Harvard University Press, 2000.
- [248] W. Willinger, M. Taqqu y V. Teverosvsky, *Stock market prices and long-range dependence*. Finance and stochastic 3, 1999, pp. 1-13
- [249] E. Wilson, *Sociobiology: The new synthesis*. Harvard University Press, 2000.

-
- [250] W. Xie y Y. Wu, *Copula-based pairs trading strategy*. Asian Finance Association (AsFA), 2013.
- [251] X. Xiong, Y. Meng, X. Li y D. Shen, *An empirical analysis of the Adaptive Market Hypothesis with calendar effects: Evidence from China*. Finance Research Letters 31, 2019.
- [252] B. Yang, F. Xue, Y. Su y C. Yan, *Is informational inefficiency priced in stock markets? A comparison between the US and Chinese cases*. Pacific-Basin Finance Journal 55, 2019, pp. 222-238.
- [253] H. Zhang, y A. Urquhart, *Pairs trading across Mainland China and Hong Kong stock markets*. International Journal of Finance & Economics 24, 2019, pp. 698-726.
- [254] C. Zapart, *Statistical arbitrage trading with wavelets and artificial neural networks*. 2003 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering, 2003. Proceedings.
- [255] L. Zunino, M. Zanin y B. Tabak, *Complexity-entropy causality plane: A useful approach to quantify the stock market inefficiency*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 389, 2010, pp. 1891-1901.
- [256] L. Zunino, B. Tabak, D. Pérez, M. Garavaglia y O. Rosso, *Inefficiency in Latin-American market indices*. The European Physical Journal B 60, 2007, pp. 111-121.

