

Fractales y Divisas: una contrastación de la hipótesis del mercado eficiente y el desarrollo de un modelo de trading cuantitativo, respaldado por la teoría fractal en los pares de divisa GBP/USD y EUR/USD en el periodo 2018-2020.

Autores:

**Luis Fidel Alomia V.
Banner Andrés Prado A.**

Tutor

**Daniel Mauricio Beltrán
danielmauricio@usc.edu.co**

**Universidad Santiago de Cali
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Programa de Economía
Santiago de Cali, Colombia
2021**

Fractales y Divisas: una contrastación de la hipótesis del mercado eficiente y el desarrollo de un modelo de trading cuantitativo, respaldado por la teoría fractal en los pares de divisa GBP/USD y EUR/USD en el periodo 2018-2020.

**Autores:
Luis Fidel Alomia V.
Banner Andrés Prado A.**

Proyecto de grado para optar al título de Economista

**Tutor
Daniel Mauricio Beltrán
danielmauricio@usc.edu.co**

**Universidad Santiago de Cali
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Programa de Economía
Santiago de Cali, Colombia**

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedicamos en primer lugar a Dios por ser la inspiración y fortaleza en cada uno de los momentos de nuestras vidas, por permitirnos llegar a este momento tan significativo luego de tanta dedicación, por brindarnos tantos triunfos y lugares de privilegio durante toda nuestra carrera, y finalmente, por otorgarnos la sabiduría suficiente para superar los momentos difíciles y al final culminar con éxito cada proceso.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y apoyo incondicional durante todos estos años, gracias a ustedes hemos superado cada uno de los obstáculos que se nos presentaron durante estos 9 semestre, logrado consigo llegar a esta instancia con la convección de un trabajo excelente. Ha sido un privilegio el pertenecer a su núcleo familiar, pues sin duda alguna, nos han concedido lo mejor en cada capítulo vivido de nuestras vidas.

A nuestra familia, por haber sido nuestro apoyo e inspiración a lo largo de toda nuestra carrera universitaria, son ustedes una base indeleble de lo que somos hoy e inspiración de lo que seremos mañana.

También, a todos los maestros que contribuyeron de manera significativa en nuestra formación académica y profesional, en especial a nuestro tutor Daniel Mauricio Beltrán que siempre ha sido una motivación constante para el continuo aprendizaje.

Finalmente, dedicamos todo este esfuerzo a todos aquellos estudiantes que, como nosotros, se esmeran día a día por sobresalir, que se arriesgan más allá de sus zonas de confort, que afrontan nuevos retos con valentía y determinación a ser los mejores. También a todos aquellos estudiantes que en su proyecto de vida no existe una excusa válida para aceptar el fracaso y no tomar la derrota como una nueva oportunidad de potencializar sus habilidades para alcanzar la victoria.

Banner Andrés Prado A.

Luis Fidel Alomia V.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por ser nuestro apoyo y fortaleza que hoy nos permite culminar de manera satisfactoria nuestro primer nivel profesional. A nuestros padres y familiares por ser ese impulso indeleble a alcanzar con coraje y determinación todas nuestras metas trazadas. A nuestro tutor de tesis, por habernos guiado, no solo en la elaboración de este proyecto de grado, sino también a lo largo de nuestra carrera universitaria, brindándonos el apoyo y conocimientos necesarios para desarrollarnos profesionalmente. Agradecemos también, al cuerpo de docentes que conforman el programa de Economía, por toda su labor y compromiso al transmitir el conocimiento necesario para afrontar los nuevos retos del mercado real.

No ha sido fácil llegar a esta instancia, pero gracias a la constante compañía de cada uno de los mencionados y a un fuerte lazo que trasciende de lo académico a una amistad de años, hoy podemos decir que estamos totalmente agradecidos y satisfechos con lo que hemos logrado.

Tabla de contenido

| | |
|---|-----------|
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| Introducción | 1 |
| Antecedentes | 3 |
| Planteamiento del Problema | 9 |
| Formulación del Problema | 10 |
| Sistematización | 10 |
| Objetivos | 11 |
| Objetivo General | 11 |
| Objetivos Específicos | 11 |
| Justificación | 12 |
| Planteamiento de Hipótesis | 13 |
| Marco de Referencia | 14 |
| Marco Teórico | 14 |
| Teoría financiera clásica. | 14 |
| Hipótesis del mercado eficiente. | 15 |
| Teoría fractal | 19 |
| Formación de un fractal | 20 |
| Marco contextual | 23 |
| Mercado de renta variable | 23 |
| Tipos de Activos financieros..... | 23 |
| Materias primas..... | 24 |
| Mercado de Divisas..... | 24 |
| Mercado de futuros..... | 24 |
| Mercado de acciones..... | 24 |
| Marco conceptual | 25 |
| Marco metodológico | 27 |
| Pruebas de normalidad | 28 |
| Prueba de Kolmogórov-Smirnov | 28 |
| Prueba de Jarque-Bera..... | 29 |
| Prueba de Anderson-Darling..... | 29 |
| Pruebas de Fractalidad | 30 |
| Prueba de invarianza de escala..... | 30 |
| Coeficiente de Hurst..... | 30 |
| Cálculo de la dimensión fractal..... | 31 |
| Selección y descripción de variables..... | 32 |
| Análisis estadístico de las series | 33 |
| Análisis de frecuencia de las series..... | 36 |
| Análisis grafico Q-Q | 37 |
| Prueba de hipótesis de investigación 1 (Supuesto de normalidad) | 38 |
| Test de pruebas de normalidad..... | 38 |
| Resultado de hipótesis de investigación 1 (Supuesto de normalidad) | 39 |
| Prueba de hipótesis de investigación 2 (Supuesto de fractalidad) | 39 |
| Prueba de invarianza de escala..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| Cálculo del coeficiente de Hurst y dimensión fractal. | 41 |
| Resultado de hipótesis de investigador 2 (Supuesto de fractalidad) | 42 |
| Creación y evaluación del sistema de trading bajo el enfoque fractal | 43 |
| Población..... | 43 |
| Recolección de datos..... | 43 |
| Patrón | 44 |
| Parámetros..... | 47 |
| Modelos..... | 50 |
| Análisis..... | 50 |
| Resultados primera etapa | 51 |
| Resultados segunda etapa..... | 53 |
| Evaluación y gestión de riesgo del modelo..... | 57 |
| Montecarlo del Drawdown (DD) | 57 |
| Riesgo de ruina (RoR)..... | 60 |
| Recovery Factor | 60 |
| Profit Factor | 61 |
| Ratio CA y RT o Recovery Time..... | 61 |
| Ratio de Sharpe | 61 |
| Resultados del modelo..... | 62 |
| Conclusión..... | 64 |
| Bibliografía | 65 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| (Tabla 1) Representación de un fractal | 21 |
| (Tabla 2) Descripción de la variable a usar..... | 33 |
| (Tabla 3) Estadísticos descriptivos de los activos financieros | 33 |
| (Tabla 4) Resultados de test de normalidad de los activos financieros..... | 37 |
| (Tabla 5) Coeficiente de Hurst por activo y partición..... | 40 |
| (Tabla 6) Resultados de la dimensión fractal por activos | 41 |
| (Tabla 7) Activos a emplear en la investigación..... | 42 |
| (Tabla 8) Resultados de Backtesting para par de divisas GPY/USD..... | 50 |
| (Tabla 9) Resultados de Backtesting para par de divisas GPY/USD..... | 51 |
| (Tabla 10) Zona horaria del Bróker vs la hora local. | 52 |
| (Tabla 11) Resultados del Montecarlo para Evaluar el DD Max..... | 57 |
| (Tabla 12) Tabla de DD y su % de Recuperación..... | 58 |
| (Tabla 13) Parámetros de cuenta..... | 58 |
| (Tabla 14) Resultados del modelo a operar..... | 61 |

Lista de gráficos

| | |
|---|--------------------------------------|
| (Grafico 1) Porcentaje de rentabilidad diaria del Euro/Dólar | 34 |
| (Grafico 2) Porcentaje de rentabilidad diaria del Libra/Dólar | 34 |
| (Grafico 3) Histograma de la serie Euro/Dólar | 35 |
| (Grafico 4) Box-Plot Euro/Dólar | 35 |
| (Grafico 5) Histograma de la serie Libra/Dólar | ¡Error! Marcador no definido. |
| (Grafico 6) Box-Plot Libra/Dólar..... | 35 |
| (Grafico 7) Q-Q Euro/Dólar con tendencia..... | 36 |
| (Grafico 8) Q-Q Euro/Dólar sin tendencia..... | 5436 |
| (Grafico 9) Q-Q Libra/Dólar con tendencia..... | 36 |
| (Grafico 10) Q-Q Libra/Dólar sin tendencia..... | 36 |
| (Grafico 11) Prueba de invarianza de escala Euro/Dolar..... | 39 |
| (Grafico 12) Prueba de invarianza de escala Libra/Dolar..... | 39 |
| (Grafico 13) Numero de operaciones por hora | 53 |
| (Grafico 14) Distribución de beneficio neto por hora..... | 53 |
| (Grafico 15) Rentabilidad máxima y mínima, si se parte desde cero cada trimestre..... | 54 |
| (Grafico 16) Distribución de beneficio neto por mes y año..... | 55 |
| (Grafico 17) Distribución de rachas..... | 55 |
| (Grafico 18) Calculo de DD..... | 57 |
| (Grafico 19) Distribución del DD y el % de Recuperación. | 58 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| (Figura 1) Representación gráfica de las ondas de Elliot..... | 19 |
| (Figura 2) Representación gráfica del triángulo de Sierpinski..... | 20 |
| (Figura 3) Representación del patrón fractal..... | 44 |
| (Figura 4) Rompimiento sucesivo de fractales..... | 45 |
| (Figura 5) Patrón Fractal Modificado | 45 |
| (Figura 6) Falso rompimiento del patrón fractal | 46 |
| (Figura 7) Representación en el mercado real de la formación del patrón a operar | 46 |
| (Figura 8) Representación esquemática y real del mercado en tendencia alcista y bajista..... | 48 |
| (Figura 9) Representación gráfica del patrón a operar y parámetros a medir. | 49 |

Lista de ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Distribucion de probabilidad normal..... | 28 |
| Ecuación 2 Sesgo de distribucion de probabilidad normal | 28 |
| Ecuación 3 Kurtosis de distribucion de probabilidad normal | 28 |
| Ecuación 4 Media del rango estandarizado..... | 31 |
| Ecuación 5 Dimension fractal | 32 |
| Ecuación 6 Riesgo de ruina (RoR)..... | 60 |
| Ecuación 7 Recovery Factor | 60 |
| Ecuación 8 Profit Factor..... | 61 |
| Ecuación 9 Ratio CA y TR..... | 61 |
| Ecuación 10 RT o Recovery Time | 61 |
| Ecuación 11 Ratio de Sharpe | 61 |

Anexos A

| | |
|---|----|
| (Grafico 1) Prueba de invarianza de escala Euro/Dólar (Semanal-Mensual) | 67 |
| (Grafico 2) Prueba de invarianza de escala Euro/Dólar (1/2 hora-4 horas)..... | 67 |
| (Grafico 3) Prueba de invarianza de escala Libra/Dólar (Semanal-1 hora)..... | 67 |

Anexos B

| | |
|--|----|
| Cálculo de Riesgo de ruina (RoR) | 69 |
| Cálculo de Recovery Factor | 70 |
| Cálculo de Profit Factor | 70 |
| Cálculo de Ratio CA | 70 |
| Cálculo de RT o Recovery Time..... | 70 |
| Cálculo de Ratio de Sharpe | 70 |

Resumen

La hipótesis del mercado eficiente durante mucho tiempo ha sido la corriente de pensamiento dominante en los mercados financieros, es por esto que, de sus asunciones teóricas se han desprendido un gran número de modelos, con los cuales se ha intentado explicar y predecir los comportamientos del precio de los activos financieros, no obstante, para la creación de dichos modelos, se debe partir de una serie de supuestos que no obedecen al verdadero movimiento del precio, haciendo que dichos sistemas fallen en el tiempo, es por ello que, se hace necesario la búsqueda y el uso de enfoques alternativos que permitan un mejor ajuste a la realidad del precio, es por tanto que, en este trabajo se hace uso de la teoría fractal como enfoque alternativo, no solo para contrastar la hipótesis de eficiencia del mercado, sino además, para crear un modelo que permita especular de manera rentable en el tiempo. Con este fin, la investigación se divide en tres partes, en la primera, se presenta el estado del arte junto con los objetivos e hipótesis de investigación, en la segunda parte, se sustenta el marco de referencia mediante el marco contextual, teórico y conceptual. Y finalmente en la tercera parte se desarrolla la metodología de investigación y se interpretan los resultados del modelo, llegando a la conclusión de que el mercado presenta evidencia de persistencia en sus series de rendimientos, durante el periodo observado, para los pares de divisas EUR/USD Y GBP/USD y por tanto, se podría decir que, en algunos momentos de la distribución, el precio de estas divisas se desarrolla de forma fractal, contrario a las hipótesis de normalidad y completa aleatoriedad que indica la hipótesis del mercado eficiente, además también se consigue la creación de un modelo fractal rentable durante los 3 años analizados, con un beneficio de 196.4%, una reducción máxima anual del 3.9% y un riesgo de ruina (RoR) del 1.26%, de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el backtesting.

Palabras clave: Hipótesis del mercado eficiente, teoría fractal, movimiento browniano, ciclo de mercado, divisas, backtesting, modelo de trading, activos financieros.

Abstract

The efficient market hypothesis has long been the dominant current of thought in financial markets, which is why a large number of models have emerged from its theoretical assumptions, with which an attempt has been made to explain and predict the behavior of the market. price of financial assets, however, for the creation of these models, it is necessary to start from a series of assumptions that do not obey the true movement of the price, causing said systems to fail over time, which is why it is necessary The search and use of alternative approaches that allow a better adjustment to the reality of the price, is therefore that, in this work, fractal theory is used as an alternative approach, not only to contrast the hypothesis of market efficiency, but also in addition, to create a model that allows profitable speculation over time. To this end, the research is divided into three parts, in the first, the state of the art is presented together with the objectives and research hypotheses, in the second part, the frame of reference is supported by the contextual, theoretical and conceptual framework. And finally, in the third part, the research methodology is developed and the results of the model are interpreted, reaching the conclusion that the market presents evidence of persistence in its yield series, during the observed period, for the EUR / currency pairs. USD AND GBP / USD and therefore, it could be said that in some moments of the distribution the price of these currencies develops in a fractal way, contrary to the hypotheses of normality and complete randomness indicated by the efficient market hypothesis, in addition it is also achieves the creation of a profitable fractal model during the 3 years analyzed, with a profit of 196.4%, a maximum annual reduction of 3.9% and a risk of ruin (RoR) of 1.26%, according to the results obtained through the backtesting.

Key words: Efficient market hypothesis, fractal theory, Brownian movement, market cycle, forex, backtesting, trading model, financial assets.

Introducción

Durante muchos años, la comprensión de las dinámicas y relaciones económicas, han sido explicadas desde la ortodoxia de la teoría neoclásica a través de una serie de axiomas y modelos matemáticos, cuyo fin ha sido el de la simplificación de la realidad con el objetivo de proporcionar entendimiento sobre las distintas situaciones de la sociedad, no obstante, este enfoque aunque ha permitido la explicación de diversos fenómenos económicos, en algunas ocasiones ha presentado algunas limitaciones prácticas y explicativas al momento de su aplicación. Un ejemplo de esto es la teoría del mercado eficiente, desarrollada por Eugene Fama, en la que se intenta dar explicación a los movimientos de los mercados financieros, argumentando que toda la información disponible, está recogida por los precios y, por tanto, no es posible batir al mercado de manera consistente y progresiva más que por un caso dado por el azar.

Es bajo esta premisa ortodoxa, que han surgido diferentes modelos para el análisis de los precios de los activos financieros. Modelos que para lograr pronosticar los movimientos del precio, hacen uso de herramientas matemáticas con la finalidad de calcular varianzas y betas, que les permitan crear carteras de inversión de acuerdo al riesgo estimado, sin embargo, estos modelos parten de una serie de imposiciones sobre los precios como la asunción, de que los cambios en estos son estadísticamente independientes con distribución normal y cuya recompensa-riesgo se desarrolla de manera proporcional, lo que de alguna manera es una aproximación poco realista de cara a analizar o invertir en los mercados financieros, dado que los precios no necesariamente mantienen distribuciones gaussianas (Mandelbrot, 2006), como ha quedado evidenciado en diversos estudios. Estos mismos, han puesto a prueba la hipótesis de la eficiencia de los mercados financieros, bajo un análisis objetivo y completo, como lo es el caso de Barr Rosenberg (1985), en donde tras estudiar los retornos mensuales de 1400 acciones desde 1973 hasta 1984, concluye que los mercados no presentan una distribución eficiente y por tanto es posible batirlo de manera consistente. De forma similar Louis (1990), estudia el rendimiento de 12 sistemas de trading, aplicados a 12 commodities entre 1975 y 1984, obteniendo rendimientos positivos en 7 de los 12 sistemas, dejando así, una vez más en entredicho la teoría de la eficiencia de los mercados financieros.

Es por tanto que, en este trabajo investigativo, no solo se intenta aportar más evidencia sobre las falencias que presenta el enfoque ortodoxo de la teoría de los mercados eficientes al momento

de predecir los movimientos de los mercados financieros, sino que también se intentará crear un modelo que permita especular en los mercados de manera rentable y sostenida en el tiempo, todo esto, desde un enfoque cuantitativo respaldado en la teoría fractal expuesta por el matemático B. Mandelbrot, como propuesta de un análisis alternativo a los métodos ortodoxos ampliamente extendidos.

Así, en la primera parte de la investigación, se presentarán algunos de los trabajos más relevantes en los que se contrastan los principales supuestos de la teoría ortodoxa del mercado eficiente, como justificación a una nueva teoría o modelos que permita predecir los mercados financieros de una mejor forma, creando de esta manera, un estado del arte que respalde la hipótesis de trabajo, y que a su vez permita sustentar el problema de investigación, los objetivos y la justificación del estudio.

En la segunda parte, se hace alusión al marco de referencia, en el que se inicia con una contextualización general de los principales mercados financieros, describiendo algunas de las características principales como el de tipo activo que estos manejan. Además, en este capítulo también se expone el marco teórico de la investigación, en el que se comentan las principales asunciones teóricas de los mercados eficientes, junto con las limitaciones en el análisis práctico que estas presentan y cómo la teoría fractal podría brindar un enfoque alternativo. Por último, se cierra este capítulo con el marco conceptual, en el que se definen algunos conceptos relevantes de cara a entender la terminología del marco metodológico de este trabajo.

Finalmente, en la tercera parte se desarrolla el marco metodológico, en donde se inicia con la validación o invalidación de la hipótesis del mercado eficiente, sobre la presencia del supuesto de normalidad e independencia en los activos elegidos, para de esta forma, dar paso a la creación y evaluación de diferentes modelos cuantitativos basados en un patrón fractal definido, desde un enfoque heterodoxo que permita operar en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD de manera rentable y consiste en el tiempo, pues como se ha evidenciado en algunos trabajos, las aproximaciones ortodoxas de los modelos especulativos, solo han permitido predecir con alto grado de acierto, en determinados momentos de los ciclos de los mercados en cortos periodos de tiempo (Joher, 2009), y por último, se presentan los resultados del modelo creado junto con las conclusiones, dando respuesta al objetivo general de investigación.

Antecedentes

En este apartado, se describen algunos de los trabajos con mayor relevancia en cuanto a la finalidad, de contrastar la hipótesis del mercado eficiente y validar la existencia de la fractalidad de los mercados financieros.

Dicho esto, uno de los primeros referentes es la investigación realizada por Tié, F. R. D. (2007), en la que se desarrolla una aplicación del análisis de rango reescalado (R/S)¹ a los datos relativos del mercado español, todo esto con el fin de contrastar el incumplimiento de la hipótesis de los mercados eficientes en las series de los precios del índice general de la bolsa de valores de Madrid (IGBM), el cual representa en su 100% dichos datos relativos. El IGBM empleado en esta investigación estuvo en un periodo comprendido entre 1990 y 2002, espacio temporal dentro del cual, se validó que no se cumplía el supuesto de normalidad en la distribución de la serie de precios del IGBM.

Una vez desarrollada la contrastación de la hipótesis del mercado eficiente en el IGBM, se procede a evaluar las concepciones generales de los fractales en el mercado financiero, al igual que validar los resultados del coeficiente de Hurst para medir la memoria a largo plazo. Para este caso del IGBM, se presentan resultados menores a 0.5 en el coeficiente de Hurst, lo cual permite concluir que se está haciendo frente a una serie anti-persistente, es decir, que se evidencia la existencia de cambios bruscos en la tendencia volátil de la serie del IGBM. Realizada la lectura de los resultados, uno de los aspectos más concluyentes de la investigación, es el nacimiento de una nueva necesidad de emplear la “hipótesis fractal en el mercado financiero, como una herramienta de análisis más acertada y con una mayor probabilidad de existir en las predicciones a largo plazo” (Tie, 2007).

Del mismo modo, dentro de la revisión bibliográfica a nivel internacional se encuentra la investigación adelantada por Joher Anna; Montoro Sandra (2009), la cual presenta como objetivo principal, validar que las estructuras de los mercados financieros no se ajustan a los movimientos que presuponen los modelos tradicionales, es decir que estos mismos no se comportan de manera lineal, sino que poseen un movimiento browniano fraccionario, el cual permite un mejor ajuste a

¹ Es una prueba estadística utilizada para cuantificar la dinámica de una serie temporal y determinar la existencia de características fractales en un sistema (Hoop et al., 1993).

la realidad para el estudio del precio con datos empíricos aplicados a una diversificación de activos financieros (índices, divisas, e índice de volatilidad) (Joher, 2009).

Adicionalmente, en este trabajo se explican de manera sucinta las distintas hipótesis de los modelos tradicionales tales como: los modelos de carteras (Markowitz, 1952) que se basan en el comportamiento racional del inversor; los modelos propuestos por (Sharpe, 1963), los cuales estiman el riesgo y la rentabilidad de los activos financieros o valores mobiliarios de las carteras de mercado; o los modelos CAPM planteados por (Treynor, 1961); (Sharpe, 1963); (Lintner, 1965), que determinan la relación existente entre el riesgo asumido por dicho activo y el precio del mismo.

Finalmente, al contrastar los diversos modelos tradicionales ya mencionados, contra la reciente teoría fractal, en el trabajo de Joher Anna; Montoro Sandra (2009) se llega a la conclusión que los mercados financieros tienden a alejarse mucho de los comportamientos presentados en las distintas hipótesis de mercados eficientes o tradicionales, siendo esto un motivo ineludible, que da lugar a un nuevo énfasis de análisis del mercado más realista, en cuanto a su consistencia y supuestos en las observaciones empíricas.

En lo referente al marco nacional, se desarrolla la investigación realizada por Restrepo, J. H. (2011), en la que designó como principal objetivo, comprobar la existencia de estructuras caóticas y de persistencia, en las series de tiempo de los rendimientos del índice de tres distintas bolsas de valores de países latinoamericanos, todo esto comprendido en un lapso de tiempo que inicia desde julio de 2001 hasta mayo de 2011. Partiendo de lo anterior, la metodología empleada para el cumplimiento del objetivo de investigación, se trata de llevar a cabo “el test de no-linealidad de las series, por medio de la prueba BDS; la memoria de las series por medio del Exponente de Hurst; la dinámica caótica por medio del Exponente de Lyapunov; la auto-similitud por medio de la dimensión fractal y de correlación, y los ciclos de las series como componentes de su estructura” (Restrepo Restrepo, 2011).

Para finalizar con el análisis de este trabajo, las conclusiones más relevantes se basan en los hallazgos de sistemas caóticos y de persistencia en las series de tiempo de los mercados financieros analizados, lo cual permite brindar acceso a nuevas consideraciones sobre las estrategias empleadas en los procesos transaccionales de las distintas Bolsas de Valores de los países estudiados. Así pues, el análisis de las series del IGBC, IPSA e IGBVL y sus rendimientos por medio del Exponente de Hurst, el Exponente de Lyapunov, Dimensión Fractal y de Lagunaridad,

exponen fuertes indicios sobre la existencia de propiedades fractales, auto similitud, auto afinidad y siguen una dinámica caótica (Restrepo Restrepo, 2011).

Por otra parte, Torre, S. R. (2012). Realiza un análisis del coeficiente de Hurst obtenido mediante la metodología R/S aplicada al índice S&P 500, utilizando series de datos basados en los precios diarios publicados por la plataforma de base de datos de Bloomberg. Todo este análisis fue desarrollado durante un periodo comprendido entre los años de 1928 y 2012, con la finalidad de evaluar las características “no lineales, fractales y los comportamientos persistentes de las series de tiempo estudiadas, además de evaluar los efectos del ruido blanco y determinar si es posible pronosticar tendencias con la ayuda de este tipo de análisis” (Torre, 2012).

La principal motivación por la cual se empleó esta metodología aplicada al índice S&P 500 y no a otro, es porque este mismo se considera como el índice más representativo de los mercados financieros y uno de los más importantes a nivel mundial. Dicho esto, al final de la investigación se concluye que existe evidencia dentro de las series de precios analizadas, de un comportamiento de naturaleza caótica y memoria de largo plazo, pues se obtuvieron resultados del coeficiente de Hurst mayores a 0.50 en las pruebas realizadas, asimismo no se obtuvo un solo dato que contradiga esta afirmación, lo que indica que: “aún seleccionando los periodos en varias combinaciones, cortas y otras más largas hay comportamientos persistentes de largo plazo, dejando el análisis fractal como una herramienta adecuada para el análisis de tendencias y gestión de riesgos” (Torre, 2012).

Otra de las investigaciones del marco nacional, es la desarrollada por Duarte (2013), en la cual se lleva a cabo la contrastación del supuesto del mercado eficiente, buscando con ello, evidenciar un comportamiento caótico en las principales series financieras del mercado bursátil, todo esto mediante análisis cualitativo y gráfico de precios versus tiempo en diferentes escalas temporales, correspondientes a los precios de cierre diario del Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia (IGBC) y de los principales activos que representan aproximadamente el 60% de la composición del índice; en palabras del autor: “Logrando consigo encontrar comportamientos fractales que permitan la toma eficiente de decisiones, basadas en predicciones sobre los cambios en el precio de los activos financieros que componen este segmento del mercado” (Duarte, 2013).

Explicado lo anterior, la conclusión más representativa de esta investigación local, se relaciona con la aplicación de la teoría fractal al mercado bursátil de Colombia, puesto que se logra encontrar que al contrastar el comportamiento de los precios de cada activo del mercado en función del tiempo durante el periodo total y subperiodos de tamaño diferente, se presentan sucesivos comportamientos similares en distintas escalas temporales, lo que estadísticamente y gráficamente representa un comportamiento fractal en todas las series de tiempo (Duarte, 2013).

Posteriormente en el trabajo de Funes, I. P. (2016), se lleva a cabo la utilización de la teoría fractal, en tres distintas etapas. En la primera etapa, mediante estudios estadísticos, se verifica la validez del axioma de la Teoría del Mercado Eficiente refiriéndose a la existencia de la aleatoriedad en la evolución de las rentabilidades de los activos. En la segunda etapa, se plantea un análisis mediante el cual se busca relacionar tanto la existencia como el impacto de los acontecimientos extremos, o en su máxima expresión clásica de los cisnes negros (Taleb, 2005). En la última etapa, se realiza la adaptación del cálculo fractal en el análisis de las respuestas obtenidas en el sondeo de sentimiento del inversor, y en la posible utilización como indicador adelantado del mercado (Funes, 2016).

En relación a las tres estructuras como producto de la aplicación de la teoría fractal para cada caso, en el trabajo de Funes, I. P. (2016) el aporte más relevante de la investigación y el análisis corresponde a la elaboración de un nuevo indicador basado en el comportamiento fractal de los activos financieros, denominado como Índice de Eficiencia Fractal (IEF), permitiendo con esta herramienta que en los procesos de asignación de activos, se logre elegir las inversiones en base a sus componentes fractales, así como también la asignación de estos al método de análisis más conveniente.

Otra de las investigaciones revisadas, es la desarrollada por Caro Adriana (2018), donde parte de la premisa en que los estudios de los mercados financieros se remontan a inicios del siglo XIX, dejando una serie de métodos poco adaptables a la actualidad, sugiriendo así, la necesidad de aplicar nuevos métodos al análisis de los mercados financieros, proponiendo la teoría planteada por Mandelbrot (2006), la cual lleva como nombre “fractales geométricos”, usando de la misma manera que los anteriores investigaciones una relación estadísticamente diferente en comparación con los modelos financieros ortodoxos, por lo tanto, esta teoría parte de la hipótesis, según la cual, se pueda analizar si el comportamiento de los precios del mañana están influenciados por los de

hoy y si los mismos pueden llegar a influir sobre la toma de decisiones de los participantes implicados (Caro B, 2018).

La metodología empleada en Caro Adriana (2018), además del análisis fractal, son la utilización de diferentes gráficos del índice bursátil IGBC a lo largo de veintiséis años, comprendidos entre el periodo de 1991 y 2017, resaltando así, algunas pruebas estadísticas para determinar la normalidad y distribución de la serie. Adicional a esto, se lleva a cabo la descripción y aplicación del efecto Noé y José descritos por (Mandelbrot B. , 2006), por medio de los cuales se hace referencia a los cuasi-ciclos del mercado y a los cambios discontinuos y abruptos del mismo, llegando con esto a conclusiones relevantes como que, el índice IGBC por medio del análisis de rango estandarizado no se ajusta a una distribución normal, suponiendo con esto la existencia de memoria de largo plazo en la serie, demostrando a su vez que el hoy si influye en el mañana, y abriendo la existencia de una mayor posibilidad de que tras un ciclo de alta volatilidad, se pueda seguir presentando dicha tendencia en el ciclo siguiente, indicando así que los datos no siguen un comportamiento browniano aleatorio (Caro B, 2018).

Del mismo modo, se sitúa el trabajo de investigación adelantado por Ochoa Ruiz (2018), en el que se estudia los diversos métodos cuantitativos, en pro de la búsqueda de un análisis acertado que evalúe la eficiencia de la información en el mercado bursátil ecuatoriano, evidenciando con esto, la contrastación de la hipótesis del mercado eficiente en este sector. En el apartado de los objetivos generales que se presentaron en esta investigación, prima el del hallazgo de memoria a largo y corto plazo en las distintas series del mercado de valores ecuatoriano, todo esto a través del análisis de fractalidad geométrica sobre las distintas escalas de tiempo, utilizando como principal herramienta el coeficiente de Hurst, el cual permite hallar la autosimilitud de las series a un escalamiento de distintos tiempos determinados, además de que también ayuda a construir el estimador de dimensión fractal, mostrando con estos la evidencia de memoria en los índices de precio del mercado bursátil de este país.

Durante el periodo analizado de esta investigación, surgió una en de las conclusiones de mayor importancia, la cual afirma que el mercado de valores ecuatoriano presenta fuertes indicios de ineficiencia de información, pues esta misma no es relevante cuando es transmitida a los participantes de este sector. Asimismo, esta afirmación es sustentada bajo el hallazgo de evidencia empírica sobre existencia de memoria de largo y corto plazo en las series de los índices bursátiles. (Ochoa Ruiz, 2018)

A continuación, se encuentra la investigación adelantada por Ramírez Caudillo (2018), en la cual se busca validar los supuestos de la memoria a largo plazo en los mercados financieros, con el fin de desarrollar un modelo que permita analizar el comportamiento de Futuros en las variables financieras del segmento mexicano, tales como las acciones bursátiles, el cambio de la relación peso/dólar o cualquier activo financiero que presente una volatilidad diaria en sus movimientos.

La metodología mediante la cual se desarrollan los objetivos de esta investigación es, en primer lugar, la validación de la hipótesis del mercado eficiente, seguido del análisis multifractal en distintos activos financieros del sector mexicano, comparando al final los resultados de este análisis fractal con la metodología Box-Jenkins, la cual se basa en una serie temporal que exhibe un desplazamiento de carácter browniano.

Uno de los hallazgos más relevantes de esta investigación, surgieron a través del coeficiente de Hurst, la técnica wavelet y el rango escalado, debido a sus distintas aplicaciones en indicadores financieros del segmento bursátil mexicano, pues el aporte de estas técnicas fractales, cobraron mayor relevancia a la hora de comparar la hipótesis del mercado eficiente con la teoría de los fractales geométricos, como también al momento de identificar la metodología de mayor utilidad para prevenir el caos financiero en ciertos tramos temporales del mercado. Adicionalmente, fueron en este trabajo capaces de demostrar la existencia de memoria a largo plazo en el comportamiento del mercado financiero de México (Ramírez Caudillo, 2018).

Para finalizar, en el marco latinoamericano se sitúa la investigación desarrollada por Balladares, K. A.; Trinidad-Segovia, J. E; & Sánchez-Granero, M. A. (2019), la cual cumple a cabalidad con el propósito de contrastar la hipótesis de mercados eficientes contra la teoría fractal en los mercados latinoamericanos de valores, mediante la utilización de los índices más representativos de las regiones y con una aplicación metodológica totalmente cuantitativa, basada 100% en estimaciones del Exponente de Hurst. (Balladares, 2019). Los países seleccionados para el estudio son: Brasil, Argentina, Chile y Perú con una serie temporal desde 1990 a 2020, hallando como conclusión más representativa que los mercados latinoamericanos presentan un comportamiento mayoritariamente fractal.

Planteamiento del Problema

En el último siglo se ha evidenciado el desarrollo de numerosos enfoques tanto teóricos como prácticos, que van desde el análisis fundamental hasta el análisis técnico, abarcando enfoques como: trading algorítmico, armónico, patrones chartistas, modelos econométricos, volumétricos e institucionales, cuya finalidad es la de desarrollar modelos que faculten una interpretación estructurada del precio, para predecir los movimientos de los mercados financieros, por medio de la búsqueda de patrones que permitan invertir o especular de manera rentable.

Sin embargo, pese a la complejidad y sofisticación de estos modelos, de acuerdo con la comisión de regulación de trading de futuros y commodities de estados unidos (CFCT), al menos 65% de los especuladores o inversores minoristas, en el primer trimestre del 2011 perdieron su dinero, dejando en evidencia, que los diferentes enfoques prácticos o teóricos, bajo los cuales respaldan sus modelos los especuladores promedios, no son lo suficientemente adecuados de cara a enfrentarse a los mercados financieros, debido a que las predicciones logradas a partir de modelos econométricos o indicadores técnicos basados en la teoría del mercado eficiente, cuando aciertan, solo tienden a funcionar en momentos cortos de tiempo (Joher, 2009), pues esta teoría no toma en cuenta el espacio y tiempo de los movimientos del precio a largo del ciclo de mercado, obligando a la búsqueda constante de nuevos modelos por parte del especulador, enfrascándolo en un bucle eterno por conseguir el modelo perfecto que le permita cumplir con su expectativa de rentabilidad. No obstante, el cumplimiento de esta expectativa se ve frustrada, dado que dichos modelos parten de representaciones regulares y lineales, que no reflejan la verdadera complejidad y predicción de los movimientos en los diversos activos financieros, puesto que mantienen un grado de ajuste no solo bajo, sino además también retrasado respecto las fluctuaciones abruptas y constantes del mercado, creadas por la tecnología y el trading de alta frecuencia.

Por lo anterior se hace necesario, el uso de nuevos enfoques teóricos como el expuesto por (Mandelbrot B. , 2006), que faculta el diseño de nuevos modelos con un mayor grado de acierto

en sus predicciones, a través de la identificación de fractales en distintas escalas temporales², para que de esta manera los especuladores logren tener una mayor probabilidad de generar rentabilidades durante periodos más largos tiempo.

Formulación del Problema

¿Cómo desarrollar un modelo de trading cuantitativo, basado en la teoría fractal que permita predecir por medio de patrones, los movimientos del precio en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD?

Sistematización

¿En qué medida es posible demostrar que durante el periodo 2018-2020 los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD no se ajustan al movimiento browniano aleatorio en ciertos momentos ciclo de mercado?

¿De qué forma, es posible crear un sistema a partir de patrones, identificados mediante el análisis fractal del precio, que permita una mejor comprensión de los movimientos en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD?

¿En qué medida, es posible hallar el efecto del modelo creado en la cartera de activos seleccionada?

² Esta identificación hace referencia a la búsqueda de patrones en distintos periodos de tiempo, estos periodos pueden ser: minutos, horas, días, semanas y meses, los cuales permiten tener una mayor amplitud de la tendencia general permitiendo a su vez tomar mejores decisiones.

Objetivos

Objetivo General

Contrastar la hipótesis del mercado eficiente y desarrollar un modelo de trading cuantitativo, respaldado por la teoría fractal en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD (2018-2020).

Objetivos Específicos

- 1) Demostrar que durante el periodo 2018-2020 los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD no se ajustan al movimiento browniano aleatorio en ciertos momentos del ciclo de mercado.
- 2) Crear un modelo a partir de patrones, identificados mediante el análisis fractal del precio en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD.
- 3) Evaluar el modelo seleccionado en una cartera de activos formada por EUR/USD y GBP/USD.

Justificación

Conforme pasan los años, los mercados bursátiles han sido explicados desde múltiples enfoques respaldados por diversas teorías, algunas de estas han sido más acogidas que otras, como es el caso de la teoría de los mercados eficientes, donde a partir de los supuestos de normalidad, linealidad, aleatoriedad y completa información, se han desarrollado una serie de modelos, con los que se ha intentado predecir los movimientos de los precios, partiendo de la simplificación del funcionamiento del mercado, ocasionando que las predicciones realizadas a partir de estos, no sean lo suficientemente precisas como lo menciona Joher (2009), en su trabajo sobre los fractales en los mercados financieros, dónde contrasta los principales supuestos de la teoría de los mercados eficientes mediante 5 activos financieros, concluyendo que los rendimientos de estos no presentan una distribución browniana (aleatoria).

Es por esto que se hace necesario buscar nuevos direccionamientos teóricos que respalden la creación de modelos empíricos, basados en la observación de patrones repetitivos, para predecir e identificar los posibles cambios en los mercados financieros, generando consigo un mayor ajuste a la realidad del mercado bursátil y de esta manera lograr rentabilidades sostenidas en el tiempo.

Por lo tanto, en esta investigación no solo se busca validar la importancia de nuevos enfoques teóricos que permitan explicar los cambios en los movimientos del mercado bursátil, sino también generar un modelo bajo un enfoque cuantitativo, extrapolable a cualquier tipo de activo respaldado en la teoría fractal.

Por esta razón, la motivación de este trabajo no solo se sitúa en el alcance de una contrastación teórica, sino también, en la creación de una metodología capaz de generar diversos modelos que permitan afrontar los mercados bursátiles, minimizando el riesgo de pérdida y maximizando las probabilidades de rentabilidad. Para en un futuro crear carteras de inversión atractivas para la gestión de capitales de terceros, convirtiendo este trabajo de grado, en un manual alternativo a los modelos ya existentes para la gestión de portafolios de inversión.

Planteamiento de Hipótesis

Para respaldar los objetivos expuestos en esta investigación, se establecen dos hipótesis directamente relacionadas con el primer objetivo, en su intención de validar algunos de los principales supuesto de la teoría del mercado eficiente, tales supuestos son: normalidad en los retornos financieros y la posible existencia de aleatoriedad en todos los momentos de la serie de tiempo, así pues, las hipótesis a validar³ son:

Hipótesis de investigación 1 (supuesto de Normalidad)

| | |
|---------------------|---|
| Hipótesis | Los retornos de las series temporales de los activos seleccionados no se distribuyen como una distribución normal (Browniana). |
| Variable | Retorno histórico de la serie diaria de los activos seleccionados |
| Método de Contraste | <ul style="list-style-type: none"> - Test de Kolmogórov-Smirnov - Test de Jarque-Bera - Test de Anderson-Darling |
| Hipótesis nula | H ₀ : Los retornos de los activos presentan una distribución normal |
| Hipótesis Alterna | H ₁ : Los retornos de los activos no presentan una distribución normal |

Fuente: elaboración propia

Hipótesis de investigación 2 (supuesto de fractalidad)

| | |
|---------------------|---|
| Hipótesis | Los retornos de las series temporales de los activos seleccionados Presentan persistencia en algunos periodos de sus series |
| Variable | Retorno histórico de la serie diaria de los activos seleccionados |
| Método de Contraste | <ul style="list-style-type: none"> - Prueba de invarianza de escala - Coeficiente de Hurst - Dimensión fractal |
| Hipótesis nula | H ₀ : Los retornos de los activos no presentan un comportamiento fractal |
| Hipótesis Alterna | H ₁ : Los retornos de los activos presentan un comportamiento fractal |

Fuente: elaboración propia

³ Es importante resaltar, que para ambas hipótesis se han realizado diferentes test, algunos cuantitativos y otros cualitativos, como es el caso de la prueba de invarianza de escala, por lo que se buscara unanimidad en dos o más de los resultados, con la finalidad de tener una mayor consistencia en las conclusiones.

Marco de Referencia

Marco Teórico

Durante el siglo pasado la teoría financiera se ha desarrollado en torno al análisis y comprensión de los mercados financieros, generando modelos matemáticos que emplean los precios de los diferentes activos para la maximización de los capitales invertidos.

Conforme avanza la tecnología y la accesibilidad a la información financiera, la calidad y complejidad de los modelos ha mejorado permitiendo generar nuevas relaciones entre activos para la disminución del riesgo y volatilidad, no obstante, la diferencia entre los valores observados por la teoría y los expresados en los mercados, ocasionaron la aparición de nuevos enfoques que permitieron complementar la teoría financiera clásica, al añadir el componente irracional de los inversores (pánico, miedo y euforia).

De esta manera la comprensión de los mercados financieros evolucionó en su enfoque, posibilitando que otras disciplinas trabajen en su comprensión, como lo es la neurociencia en su estudio sobre la toma de decisiones financieras, la física desde los avances de la teoría del caos, sobre los movimientos de los precios y la física fractal con su interpretación sobre las formas. Estos enfoques, por nombrar algunos, han acrecentado una diversidad en los modelos propuestos para la interpretación de los mercados, haciendo uso del análisis de correlaciones entre activos o variables de magnitudes macroeconómicas, manteniendo siempre sus bases en los principales enunciados de la teoría financiera ortodoxa.

En este apartado se describirá la evolución de la teoría financiera clásica, exponiendo principalmente las limitaciones que esta presenta en su aplicación práctica, al igual que los fundamentos de la teoría fractal, la cual servirá como un enfoque alternativo para la creación de modelos que permitan interpretar los movimientos de los mercados financieros.

Teoría financiera clásica.

Los modelos bajo la teoría financiera clásica o también llamada teoría del mercado eficiente, pertenecieron al área dominante de las inversiones durante el siglo pasado. Dado que el desarrollo de varios trabajos adelantados por diferentes premios nobel en el marco de las finanzas aplicadas, posibilitaron entender la industria de la gestión de riesgo y activos.

Esta teoría, remonta su origen al siglo XVI por medio de diversos escritos sobre los movimientos de los precios y sus relaciones en los mercados financieros (Sewell, 2011). Sin embargo, dada las limitaciones en la consecución de estos, se partirá desde los enunciados del matemático francés Louis Bachelier (1900) quien publicó en su tesis que los precios seguían un movimiento browniano⁴, pues este observó que estos seguían un patrón aleatorio concluyendo que las fluctuaciones de los precios pasados, no influirían en los precios futuros.

De esta forma, las aportaciones de Louis Bachelier (1900) sirvieron como base al desarrollo de la teoría del Mercado Eficiente y todos los modelos respaldados bajo esta, evolucionando sus asunciones a través del tiempo gracias a las aportaciones de Markowitz (1952) sobre la eficiencia informacional de los mercados⁵ y los aportes de Maurice G. Kendall (1953) y Eugene Fama (1970), acerca de la representación aleatoria del precio por medio de la distribución probabilística y los tres tipos de eficiencia en los mercados financieros, dando paso a la hipótesis de mercado eficiente ampliamente usada hoy en día por parte de especuladores, inversionistas y teóricos de los mercados financieros.

Hipótesis del mercado eficiente.

De acuerdo con la teoría, un mercado es eficiente cuando los precios de los valores o títulos negociados reflejan toda la información disponible, logrando adaptarse rápida y eficazmente a la nueva información. Por tanto, solo eventos inesperados y aleatorios explicarían las alteraciones en los precios, pero no en el valor del activo (Tie, 2007), Proponiendo así que tan solo estos acontecimientos deberían ser modelados, dado su carácter estocástico, mediante modelos basados en el comportamiento browniano, pues al normalizar las series quedaría reflejado su carácter aleatorio.

De esta manera, la hipótesis de los mercados eficientes tendría las siguientes implicaciones:

- Los mercados no tienen memoria, por lo que los precios presentes no dependen de las variaciones en los precios pasados.

⁴ El movimiento browniano fue propuesto por Robert Brown en 1827 tras analizar bajo un microscopio los movimientos de las partículas de polen en el agua, indicando la aleatoriedad del movimiento en dicha partícula. **Nota:** el movimiento browniano en el análisis de series temporales hace referencia a la aleatoriedad de la distribución del precio.

⁵ La eficiencia informacional de los mercados hace referencia a la velocidad con la que el precio refleja la información disponible de un activo.

- Los inversores presentes en un mercado cuentan con el mismo acceso a la información, con lo cual no es posible tener una ventaja vía información, indicando que aquellos que superen la rentabilidad de otros será producto del azar, pues dentro del mercado todos los inversores deberían tener las mismas probabilidades de ganar y perder.
- La competencia entre los activos financieros se mantiene constante entre sí, pues es la única forma en la que toda la información que afecta el valor de los títulos, se refleje de manera inmediata en los precios de los mismos.
- Dado que todos los títulos están debidamente valorados, los rendimientos alcanzados por los inversores serán proporcionales al riesgo asumido, implicando que todo el esfuerzo invertido en el análisis de los activos será inútil.

Con base en dichas implicaciones Harry Roberts (1967), plantea que la hipótesis de los mercados eficientes podría clasificarse en tres niveles de eficiencia, indicando que cada nivel tendría repercusiones diferentes al intentar explicar el funcionamiento de los mercados financieros. Estas hipótesis las clasificó como: débil, semi-fuerte y fuerte (Quiroga, 2017).

Hipótesis débil:

Sugiere que un mercado presenta eficiencia débil, si el activo logra reflejar toda la información pasada acumulada en la serie histórica del precio, por lo que no sería posible obtener rentabilidades superiores basando las decisiones en el análisis del gráfico (análisis técnico).

Hipótesis semi-fuerte:

Un mercado es semi-fuerte si puede reflejar, ya no solo la información pasada sino además toda la información pública, anunciada en forma de noticias, informes de resultados, balances, entre otros, que afecten directamente a los títulos de la empresa o su entorno, por tanto, no sería posible alcanzar rentabilidades superiores por medio del análisis fundamental (análisis del impacto de las noticias).

Hipótesis fuerte:

La hipótesis fuerte indica que el precio es capaz de reflejar toda la información, tanto histórica, como pública o privada, denotando que ningún inversor podría batir al mercado exceptuando los momentos en los que se presenta el azar.

Así pues, la hipótesis del mercado eficiente, se respalda bajo una serie de fuertes supuestos con los que dio paso a la fundamentación teórica de un grupo de modelos financieros desarrollados en el siglo XX. Tales modelos son: Capital asset pricing model CAPM, Teoría de carteras de Markowitz, Modelo de mercado de Sharpe y el modelo de valoración de Opciones, cuyas asunciones parten de una simplificación alejada de la realidad del mercado y con carencias de funcionamiento empírico, no logrando explicar ni los movimientos bruscos ni los factores que los ocasionan.

Joher Anna; Montoro Sandra (2009), En su trabajo sobre los fractales en los mercados financieros, expresa las 4 principales asunciones de la hipótesis del mercado eficiente, con las limitaciones que estas presentan:

Asuncion 1: los inversores son racionales y por tanto su unico objetivo es enriquecerse, asi pues la selección de sus carteras estaran compuestas por aquellos activos que maximizan la utilidad.

Realidad: los inversores no siempre son racionales pues la compra o venta de activos se ve influenciada en gran medida por sus emociones, por tanto sus decisiones no siempre seran aquellas que llevan al maximo sus beneficios.

Asuncion 2: puesto que los mercados son eficientes, los cambios en los precios de las divisas o acciones se mantienen de forma continua, por lo que estos no evidencian saltos o vacios repentinos en sus cotizaciones (gaps).

Realidad: al analizar graficas es común encontrar vacíos o saltos entre las cotizaciones, pues en ciertos momentos se presentan fuertes volúmenes de presión compradora o vendedora, haciendo que al no encontrar una contraparte el precio salte una cierta cantidad de ticks⁶.

Asunción 3: todos los inversores tienen los mismos objetivos, información y horizonte temporal, por tanto, son iguales y al enfrentarse a una situación tomaran la misma decisión.

Realidad: sin tener en cuenta las cantidades de capital disponible, cada inversor tendrá su propio horizonte temporal, pues algunos invertirán a plazos más largos y otros solo querrán especular sobre los movimientos diarios, haciendo claramente divergir sus objetivos.

Asunción 4: los cambios en los precios presentan un movimiento aleatorio por tanto sus distribuciones son brownianas, indicando que el precio actual no estará influenciado por el precio anterior. Los precios tienen estacionariedad estadística, indicando que los cambios en el mismo son invariantes, es decir que pertenecen a un paseo aleatorio, pues el análisis de su media y varianza son constante en el tiempo. Y por último los grandes cambios en el precio son muy escasos y con baja frecuencia, por lo que estos se podrían representar por una campana de Gauss al distribuirse bajo el supuesto de normalidad.

Realidad: diferentes estudios incluyendo el de Joher Anna; Montoro Sandra (2009), ya han demostrado que los precios no son independientes, pues el precio de mañana está afectado por el de hoy debido a la memoria del mercado. No son invariantes porque rumores o noticias pueden afectar en gran medida el precio de una acción. Y no presentan distribución normal, dado que estos tienen colas pesadas.

Siguiendo a (Joher, 2009), “Es por todas estas asunciones teóricas que ofrece la teoría de los mercados eficientes, que los modelos respaldados por esta, son muy buenos explicando o prediciendo los movimientos pasados pero muy poco asertivos en los movimientos futuros”, lo que convierte a estos modelos en obsoletos para los fines especulativos del inversor medio. Por

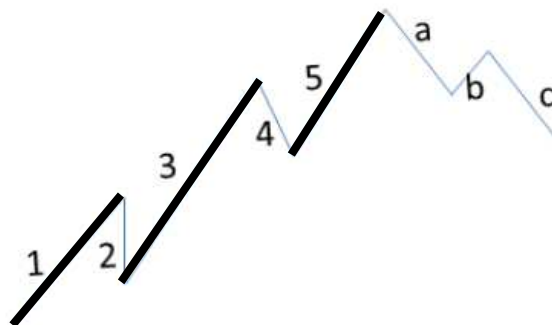
⁶ Equivale al cambio de precio más pequeño que se puede dar en un mercado.

lo anterior, se hace necesario la creación de modelos no lineales respaldados por otras teorías como la fractal, que permitan tener un acercamiento menos restrictivo y más real al mercado.

Teoría fractal

El planteamiento de la teoría fractal expuesta por Benoit Mandelbrot (2006), surge como una contraposición a los fundamentos teóricos ya arraigados en la economía financiera por parte de la teoría ortodoxa, en donde intenta mostrar un acercamiento más fiel a los movimientos del mercado. Mandelbrot en su obra, define a un fractal como la identificación de patrones repetitivos los cuales, al analizarlos, cuantificarlos y manipularlos, proporcionan una herramienta analítica y sintética de cara a comprender los mercados.

No obstante, fue Ralph Nelson Elliot (1938) quien realizó una primera aproximación fractal a los mercados financieros desde el análisis técnico, detectando ciertos movimientos cíclicos u ondulatorios en los precios de las cotizaciones, argumentando que había una mecánica interna que gobernaba el movimiento del precio y dicha mecánica se componía de 5 ondas⁷ (**Figura 1**) las cuales se expandían y contraían generando tendencias.



(Figura 1) Representación gráfica de las ondas de Elliot

Fuente: elaboración propia con base en el libro Las ondas de Elliot

Sin embargo, es Mandelbrot (2006) quien desarrolla todo un sustento teórico y matemático en torno a la creación de un fractal, mediante la observación de diferentes elementos de la naturaleza bajo el supuesto de que tras el aparente caos debía existir algún tipo de patrón repetitivo, definiendo

⁷ De acuerdo con Elliot las ondas 1, 3 y 5 representan las ondas expansivas y al ser las más grandes indican el sentido de la tendencia del activo mientras que las ondas 2 y 4 al ser las más cortas hacen referencia los retrocesos de la tendencia, por otro lado la onda a, b y c representaría una onda correctiva y posible pausa o cambio de la tendencia.

que: “Un fractal es una clase de invarianza o simetría que relaciona un todo con sus partes: al descomponerse en pequeñas fracciones, estas mantienen la forma inicial” (Mandelbrot 2006).

Además, indica que un fractal puede adoptar diferentes formas de una figura concreta que se repite, hasta una pauta estadística abstracta, teniendo en cuenta que dichas formas pueden estar determinadas por una regla precisa o por un acontecimiento de azar, donde su representación geométrica tanto en orientación como tamaño puede variar, manteniendo un aspecto similar en una escala menor o mayor (Mandelbrot, 2006).

De acuerdo con lo anterior, la representación fractal se podría encontrar tanto en una coliflor como en el triángulo de sierpinski, (**Figura 2**) una hoja o el copo de nieve de Koch⁸, lo que demuestra que la geometría fractal no solo es aplicable al campo de las ciencias exactas, sino también, a diferentes campos, pues sus representaciones se encuentran en múltiples objetos pertenecientes al entorno humano.



(Figura 2) Representación gráfica del triángulo de Sierpinski

Rescatado de: <https://culturacientifica.com/2017/07/19/triangulando-pascal-versus-sierpinski/>




Formación de un fractal

Mandelbrot (2006), definió que el proceso para la construcción de un fractal debería partir de un indicador, el cual podría ser un objeto geométrico clásico como un triángulo, una línea recta, o una bola sólida, seguido de un generador, el cual haría las veces de plantilla con la cual se obtendría el fractal, esta plantilla podría derivar de una línea quebrada, una secuencia de precios o una curva

⁸ El copo de nieve de Koch es una curva cerrada continua pero no diferenciable en ninguno de sus puntos y fueron empleadas por el sueco Helge Von Koch para ilustrar que una curva puede tener una dimensión fractal $D > 1$

rizada. Y por último estaría la regla de recursión, con la que se construiría el fractal (Caro B, 2018) en la (Tabla 1) se presenta una ejemplificación de la creación de un fractal.

(Tabla 1) Representación de un fractal

| Elemento | Descripción | Fractal |
|-----------|---------------------------------|---|
| Indicador | Objeto geométrico (Línea) |  |
| Generador | Plantilla o estructura |  |
| Recursión | Instrucciones para la iteración |  |

Fuente: elaboración propia con base en (Funes, 2016)

Además, Mandelbrot, (2006), también define que los fractales deben presentar ciertas características como la Auto-similitud, pues estos tienen la capacidad de aumentar o disminuir su tamaño en todas las direcciones, la auto-afinidad, dado que estos pueden tener cambios de escala en diferentes puntos de distintas maneras, Multifractalidad, puesto que el mismo objeto cuenta con la capacidad de tener diferentes desarrollos en temporalidades distintas, y por último la dimensión fractal, que indica el espacio físico llenado por estos.

Es así, como mediante estas características se podría lograr una mejor comprensión del riesgo y de la conducta de los mercados en función del mismo, pues la proporción riesgo-recompensa, no es equiparable como lo sugiere la teoría ortodoxa, sino que el riesgo suele ser mayor puesto que los precios suelen experimentar numerosos momentos de subida y bajada con tendencias irregulares, ocasionando saltos o grandes fluctuaciones escalables y estos al seguir una pauta regular independiente, pueden darse sin importar la temporalidad del gráfico (Caro B, 2018).

De acuerdo a esto, Mandelbrot clasifica las fluctuaciones de los precios, en dos rasgos salvajes, el primero llamado el “efecto Noé”, pues los movimientos abruptos y discontinuos del precio se asemejan al relato bíblico, que describe el periodo catastrófico pero transitorio relatado en la biblia y el segundo lo denomina “efecto José”, comparando los cuasi-ciclos del precio, con las profecías de escasez y abundancia que José le reveló al faraón. Con estas analogía, Mandelbrot desarrolla una serie de patrones para la medición de la volatilidad y el riesgo usando dos variables, el parámetro α de volatilidad y el exponente Hurst de dependencia (en el apartado metodológico se explicara más a fondo estas variables), evitando así el uso de las desviaciones estándar y betas

tradicionales de la teoría ortodoxa, para a su vez contrastar y validar la no normalidad, la no independencia y la no estacionariedad de los precios, estableciendo de esta manera una nueva visión para el análisis de los mercados por medio de una concepción más realista tanto del riesgo como de la aleatoriedad salvaje, logrando así un análisis gráfico que permitiese combinar los pequeños y rutinarios movimientos, con las enormes y anómalas dislocaciones del precio, alejándose del camino equivoco y dócil tomado por los modelos clásicos de la teoría del mercado eficiente (Caro B, 2018).

Basados en lo anterior, la formulación de la hipótesis fractal propuesta por Peters (1994), indica que:

- Los mercados están formados por diversos inversores, cada uno con horizontes temporales diferentes.

- La información que proporciona el mercado presenta implicaciones subjetivas para cada inversor.

- La estabilidad de los mercados se sustenta bajo la liquidez.

- Los precios son el reflejo de las conclusiones de los inversores de acuerdo al análisis técnico y fundamental que realizan al activo.

- Si una empresa no evoluciona de acuerdo al ciclo económico, no seguirá la tendencia principal del mercado y por tanto las decisiones de sus precios, estarán dadas por el análisis técnico del inversor.

Permitiendo así, dar mayor fundamento a todo el desarrollo teórico creado por Mandelbrot.

Así pues, una vez entendidas las limitaciones de la teoría ortodoxa en la explicación de la realidad del mercado, la teoría de los fractales geométricos, podría ser una buena herramienta que permita explicar desde un enfoque más global y completo el caos y la incertidumbre, que presentan los mercados de renta variable dadas las diferentes expectativas de los inversores.

Marco contextual

Existe una gran estructura mediante la que se compone el sistema financiero, sistema dentro del cual se sitúa uno de los mercados con mayor relevancia según la magnitud que este posee, dicho mercado es el de capitales cuya característica principal es el de permitir la compra y venta de activos financieros a corto, mediano y largo plazo mediante intermediarios provistos por el mercado de renta variable.

Es por tanto objeto de este trabajo describir el mercado de renta variable dada la finalidad de entender la estructura del precio de sus activos.

Mercado de renta variable

El mercado de renta variable o también llamado mercado bursátil, es el mercado en el que aquellos que participan buscan adquirir rentabilidades superiores al riesgo asumido por medio de la inversión o especulación en activos como: acciones, bonos, futuros, materia primas o divisas, aceptando un alto grado de incertidumbre.

En este mercado existen una gran cantidad de activos, cuya finalidad además de general algún tipo de rentabilidad, es la de mitigar o resguardar posibles pérdidas afrontadas por la actividad de las empresas en el sector real de la economía, ya sea por cubrimientos en la devaluación de monedas o por pérdidas en insumos y materias primas.

Tipos de Activos financieros.

A pesar de la gran variedad de activos que componen este mercado los más populares son: Las materias primas, divisas, acciones e índices bursátiles. Puesto que no son complejos, son fáciles de usar y a demás son fáciles de acceder por los pequeños inversores, mediante los contratos por diferencias (CFDs) ofrecidos por los bróker o intermediarios.

Materias primas.

Este mercado está compuesto principalmente por recursos naturales con la capacidad de ser procesables o transformados para hacer parte de procesos productivos en la economía real, puesto que con ellos se pueden generar tanto productos industriales como alimentarios para satisfacer la demanda global. Aumentando o disminuyendo su demanda tanto por el cambio climático como por los hábitos de consumo, haciendo que estos se comercialicen en cantidades muy grandes debido a los considerables aumentos de precios que estos pueden tener. Por tanto, el mayor uso de este producto financiero es el de especular su precio.

Mercado de Divisas.

También llamado en inglés Foreign Exchange Market (FOREX). Es un mercado interbancario en el que se permite la compra y venta libre entre monedas de diferentes economías, posibilitando el comercio internacional, lo que lo convierte en uno de los mercados financieros más grandes y líquido del mundo.

Mercado de futuros.

La naturaleza de este mercado consiste principalmente en las negociaciones o convenios de compra y venta de determinados bienes a una fecha futura mediante un acuerdo de precio, cantidad y vencimiento dentro de un periodo de tiempo, el principal uso de este tipo de activos es el de cubrimiento y especulación de su precio a la fecha de vencimiento, convirtiéndose en los últimos años en uno de los mercados más tranzados.

Mercado de acciones.

Este es uno de los mercados más antiguos y referenciado por el inversor medio, en este mercado se posibilita la compra y venta de acciones o títulos valor emitidos por empresas, con la finalidad de financiar su actividad productiva generando rentabilidades o dividendos al inversor.

Marco conceptual

Movimiento Browniano: Oscilación aleatoria de los elementos. La primera descripción con base científica fue desarrollada por el biólogo (Brown, 1827) y sirvió de base posterior a los estudios de Louis Bachelier para el análisis del comportamiento de la bolsa (Bachelier, 1900), así como a Albert Einstein en sus primeros análisis sobre las implicaciones de la teoría atómica (Einstein, 1956)

Pruba BDS: test de independencia o prueba de no linealidad, que muestra a su vez un alto poder contra una vasta gama de alternativas no lineales (Collings, 1987).

Take profiles: es un tipo de orden que permite al trader cerrar una posición de manera automática, cuando los precios alcanzan un nivel predefinido y así fijar los beneficios.

Traders: persona, física o jurídica, que realiza operaciones de compra-venta de todo tipo de activos en cualquiera de los distintos mercados.

Broker: es una entidad financiera autorizada y regulada que ejecuta las órdenes de los traders en los mercados, además de ser también el responsable de la seguridad de los fondos que pertenecen a sus clientes

CDFs: también conocidos como Contratos por Diferencia, se definen como derivados cuyo precio se basa en el de un activo subyacente. Lo cual implica que las operaciones abiertas son en realidad contratos con el broker, en lugar de la adquisición única de un activo.

Vela japonesa: son una representación visual de los movimientos de precios de los mercados, permitiendo así, que los inversores obtengan información relacionada con el precio rápidamente a partir de solo unas pocas barras de precios. Estas están conformadas por:

1. El cuerpo: que representa el rango de apertura a cierre.
2. La cola o sombra: que representan los puntos máximos y mínimos a los que llegó el precio en el desarrollo de la vela.
3. El color: que indica la dirección del movimiento del mercado.

Stop loss: es una orden que establece la pérdida máxima que el inversor desea asumir en una posición en el mercado, es decir, que cuando el precio alcanza el nivel al que se encuentra colocado el stop-loss, esta orden se cierra con las pérdidas que se halla elegido.

Ticks: equivale al cambio de precio más pequeño que se puede dar en un mercado.

Pip: es uno movimiento del precio, con un valor específico que depende del mercado en cuestión. En otras palabras, es una unidad estándar para medir cuánto ha cambiado la cotización de un activo.

Ratio riesgo beneficio: se define como la cantidad que se esta dispuesto a perder si el precio se mueve en una dirección inesperada, entre la cantidad de ganancias esperadas cuando se cierra la posición.

Time frame: es el periodo o marco de tiempo, en el que se puede operar en una plataforma de Trading, por lo general sus periodos se comprenden entre (1 minuto, 5 minutos, 30 minutos, 1 hora, 4 horas, 1 día, 1 semana, 1 mes)

Metatrader 4: es plataforma de trading online que se puede utilizar para automatizar el trading, además de que su interfaz de usuario es sencilla y ofrece acceso a un análisis técnico avanzado y a sistemas de trading flexibles.

MQL4: Es un lenguaje de programación, que permite a los traders crear su propio robot de trading automático con programas comerciales y un gran volumen de cálculos, ayudando con esto a controlar al detalle prácticamente todos los parámetros de los expertos e indicadores en la plataforma Metatrader 4.

Orden a mercado: es utilizada para la compra o venta de un activo de forma inmediata al mejor precio actualmente disponible.

Gatillos: se pueden definir como la última variable a tener en cuenta antes de posicionarse en el mercado, es decir que indica cuando se debe comprar o vender.

Backtesting: Es una herramienta especializada que tiene como función principal, probar una estrategia de trading en el pasado, retrocediendo en el gráfico, para asegurar que el patrón que se está utilizando, o el sistema de trading, pueda generar ganancias a largo plazo en el futuro.

Drawdown: es también conocido como retroceso de la curva de resultados, y permite medir el retroceso actual en la curva de resultados respecto al anterior máximo en dicha curva, logrando con ello en dicha forma medir el riesgo de un sistema de trading.

Rachas: se pueden definir como una secuencia de valores muestrales con una característica común precedida y seguida por valores que no presentan esa característica, Permitiendo con esto, verificar la hipótesis nula de que las muestras no son aleatorias.

Marco metodológico

El desarrollo de este marco se compone de dos partes, una primera en la que se lleva a cabo la descripción y el análisis estadístico de los activos elegidos (EUR/USD⁹ y GBP/USD¹⁰), con la finalidad de desarrollar la hipótesis de investigación¹¹ y, en la que por medio de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov, Jarque-Bera y Anderson-Darling, se validará la existencia del supuesto de normalidad, para posteriormente desarrollar la hipótesis de investigación 2, en la que se hace uso de la prueba de invarianza de escala, coeficiente de Hurst y el cálculo de la dimensión fractal, cuya aplicación permitirá contrastar, la existencia de la hipótesis fractal en los mercados financieros.

Una vez llevado a cabo todas estas contrastaciones, que servirán como sustentación de la teoría fractal en los mercados financieros, se dará paso a la segunda parte de este marco, en la que se desarrolla una metodología lo suficientemente objetiva, para la obtención de patrones fractales repetitivos que permitan ejecutar una operativa especulativa en el mercado bursátil de manera rentable en el tiempo.

Así pues, la metodología bajo la que realiza este trabajo, es una metodología cuantitativa de método hipotético deductivo, en la que se recolectan los datos por medio de la técnica de observación estructurada, para de esta forma generar como resultado final, un modelo especulativo.

A continuación, se presenta la base teórica de los test de Kolmogórov-Smirnov, Test de Jarque-Bera, Test de Anderson-Darling, prueba de invarianza de escala, coeficiente de Hurst y la prueba de invarianza de escala, pruebas con las que se llevara a cabo la comprobación de las hipótesis planteadas.

⁹ Esta divisa representa el tipo de cambio existente entre el Euro y el Dólar americano

¹⁰ Esta divisa representa el tipo de cambio existente entre el Libra esterlina y el Dólar americano

¹¹ Aunque una divisa no entra en la categoría de activo en sí mismos, debido a que su estructura depende de la interacción entre diversas variables, para fines del análisis la tomaremos como activo. (Funes, 2016).

Pruebas de normalidad

Estas son pruebas ampliamente aplicadas a todo tipo de datos, que buscan identificar si estos se distribuyen bajo una distribución normal o se comportan de manera aleatoria. Su aplicación parte de considerar, que si una muestra de tamaño (N), pertenece a una población que se distribuye normalmente, dicha muestra heredará las características de esa población.

La curva de este tipo de distribución centrada alrededor de la media, recibe el nombre de distribución Normal Estándar, y permite hacer comparaciones objetivas de la dispersión presente en diferentes conjuntos de datos, sin importar los valores específicos que tomen los primeros momentos de su distribución, al interior de cada conjunto de datos analizado. Su forma de cálculo viene dada por la siguiente expresión:

$$z = \frac{X-\mu}{\sigma} \quad \text{Ecuación 1}$$

En cuanto su aplicación a las series financieras, la interpretación de la media estaría expresada por el rendimiento promedio del activo, mientras que la desviación estándar representa la volatilidad.

Otro análisis importante al momento de la aplicación de esta prueba. Es el sesgo y la curtosis, donde la primera hace referencia a la simetría que presenta la curva de la distribución indicando que si el resultado de su cálculo es igual a 0 (**Ecuación 2**) la curva será normal perfecta, mientras que si esta es negativa o mayor a cero se interpretara como la presencia de un sesgo hacia la izquierda o derecha según sea el caso.

$$Sesgo = \frac{\sum(x_i-\mu)^3}{(n-1)\sigma^3/2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Mientras que la curtosis representara la altura de la curva, indicando que si dicho cálculo es mayor o menor a (3), las características de las observaciones se alejan de la media.

$$Kurtosis = \frac{\sum(x_i-\mu)^4}{(n-1)\sigma^4} \quad \text{Ecuación 3}$$

Prueba de Kolmogórov-Smirnov

La utilización de este estimador tiene como objetivo, determinar si la frecuencia de un conjunto de datos distintos sigue la misma distribución alrededor de su media, para este caso específico es elegido este estimador debido a que cumple con el número mínimo de observaciones requeridas por cada activo analizado.

El planteamiento hipotético de este estadístico se distribuye de la siguiente:

H₀: Las variables siguen una distribución normal.

H₁: Las variables no siguen una distribución normal.

Además de esto, se hace establecer la regla de decisión del este estimador, la cual es comprendida de la siguiente manera:

Nivel de significancia (α) = 0,05.

Nivel de confianza ($1 - \alpha$) = 0,95.

- Se rechaza H₀ si el p-valor es inferior o igual al nivel de significación.
- No se rechaza H₀ si el p-valor es superior al nivel de significación.

Prueba de Jarque-Bera.

Esta es una prueba estadística con la que se pretende establecer si la asimetría y la curtosis presente en un conjunto de datos, son consistentes con aquellas presentes en una distribución normal Teórica. Dicha prueba se distribuye de manera asintótica, mediante una distribución chi cuadrado con dos grados de libertad, facilitando la comprobación de las hipótesis de normalidad:

H₀: Las variables siguen una distribución normal.

H₁: Las variables no siguen una distribución normal.

Además de esto, la regla de decisión de este estimador, se comprende de la siguiente manera:

Nivel de significancia (α) = 0,05.

Nivel de confianza ($1 - \alpha$) = 0,95.

- Se rechaza H₀ si el p-valor es inferior o igual al nivel de significación.
- No se rechaza H₀ si el p-valor es superior al nivel de significación.

Prueba de Anderson-Darling.

Esta prueba, al igual que las anteriores, es empleada para probar si una muestra de datos proviene de una población con distribución de probabilidad continua específica (por lo general distribución normal) y se basa en la comparación de la distribución de probabilidad acumulada empírica, con la distribución teórica, el planteamiento de su hipótesis es el siguiente:

H₀: Las variables siguen una distribución normal.

H₁: Las variables no siguen una distribución normal.

Además de esto, la regla de decisión de este estimador, se comprende de la siguiente manera:

Nivel de significancia (α) = 0,05.

Nivel de confianza ($1 - \alpha$) = 0,95.

- Se rechaza H_0 si el p-valor es inferior o igual al nivel de significación.
- No se rechaza H_0 si el p-valor es superior al nivel de significación.

Pruebas de Fractalidad

Prueba de invarianza de escala

La invarianza de escala es definida como una característica que distingue a todos aquellos objetos que no cambian, a pesar de que la longitud de su escala sea multiplicada por un factor constante. Un ejemplo de esto, son los objetos fractales que siguen mostrando similitud sin importar su escala.

Esta puede ser medida de dos formas, por medio del cálculo integral hallando el área bajo la curva y la otra sería mediante el análisis de la figura en sus diferentes escalas (Joher, 2009). Siendo la segunda forma la empleada para el análisis.

Coefficiente de Hurst

Esta es quizás una de las pruebas más relevantes de esta investigación, pues indica la presencia o no de persistencia en la serie temporal, y de encontrarse persistente sería una clara señal de que la serie es un ruido blanco y por tanto habría dependencia entre los datos, es decir que los datos presentes dependen de los datos pasados, (la serie tendría memoria y no sería un movimiento browniano ordinario) (Funes, 2016).

Su forma de estimación viene dada por un conjunto de pasos:

- Dada una serie temporal se obtienen las diferencias en escala logarítmica de cada valor.
- El siguiente paso será dividir la serie en “n” rangos de igual tamaño.
- Para cada uno de los intervalos se deberá calcular la media, desviación estándar, la diferencia de cada dato respecto la media, el dato acumulado de la diferencia de cada dato respecto de la media y por último se calcula la diferencia entre el valor máximo y el mínimo.

- Se calcula el rango estandarizado de cada una de las particiones, dividiendo los valores del tramo por su desviación estándar.

- Luego se calcula la media del rango estandarizado por cada partición como se ve en la **Ecuación 4**.

$$\ln\left(\frac{R}{S}n\right) = \ln(C) + H \ln(n) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

C: es constante de la probabilidad.

R: es el rango (Diferencia entre el valor máximo y mínimo).

N: es la desviación típica de los elementos de la partición.

H: es el coeficiente de Hurst.

Y por último se calcula la regresión lineal de los valores calculados teniendo como resultado el coeficiente Hurst.

Una vez obtenido el coeficiente (H) su interpretación estará definida de la siguiente manera pues sus valores oscilan entre 0 y 1.

- Coeficiente $1 \leq (H) > 0.5$ la serie será persistente, es decir que los movimientos del futuro estarán condicionados por los movimientos del pasado, la serie presenta memoria a largo plazo.

- Coeficiente $(H) = 0.5$ la serie es independiente, por tanto, sus movimientos no tienen memoria (la serie será aleatoria).

- Coeficiente $0 \leq (H) < 0.5$ significaría que la serie es anti persistente y por tanto estaría cambiando constantemente (presentarían reversión a la media).

Cálculo de la dimensión fractal

Este permite clasificar el tipo de objeto fractal el cual se está analizando, por medio de la asignación de una cantidad numérica a cada uno de sus lados, permitiendo saber el grado de irregularidad o variación de la serie temporal en un rango de tiempo. Para llevar a cabo su cálculo

Mandelbrot (1982) hizo uso del coeficiente de Hurst, indicando que si el exponente estaba entre 0.5 y 1 su dimensión fractal se clasificaría de la siguiente manera.

Si $H > 0.5$ entonces la dimensión fractal disminuirá.

Si $H < 0.5$ la dimensión fractal aumentara.

Si $H = 0.5$ la dimensión fractal será indeterminada.

La ecuación para su cálculo es la siguiente:

$$D_f = 2 - H \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

D_f : Dimensión fractal.

2: Constante.

H : Coeficiente de Hurst

Una vez explicado el fundamento teórico, se procede a realizar la descripción estadística de las series seleccionadas en la (**Tabla 2**) y la comprobación de la primera y segunda hipótesis. Para posteriormente pasar a la segunda fase del marco metodológico planteado.

Para llevar a cabo esta contrastación, se tiene en cuenta la siguiente estructura:

- Análisis estadístico de las series.
- Prueba de normalidad
- Prueba de invarianza de escala.
- Calculo del coeficiente de Hurst.
- Y por último la Estimación de la dimensión fractal.

Selección y descripción de variables

Como ya se ha mencionado antes, los activos seleccionados para este estudio son los pares de divisas EUR/USD y la GBP/USD, esto porque son dos de los activos más populares y transados a nivel de comercio especulativo gracias a su liquidez y fácil acceso, además cuentan con un gran número de información histórica de su series, permitiendo que los análisis sobre estos, puedan ser

aplicados y estudiados en diferentes etapas de los ciclos del mercado, en la **(Tabla 2)**, se define la variable a emplear para el desarrollo del marco metodológico y contrastación de hipótesis, además, se muestra tanto su medición como la fuente de extracción de la misma, y el periodo de análisis sobre el que se desarrolla el estudio.

(Tabla 2) Descripción de las variables a usar

| | |
|---------------------------|---|
| Variable | Rentabilidad diaria extraída de las series históricas del EUR/USD y la GBP/USD |
| Fuente | La fuente empleada para la extracción de los datos es a través de la plataforma de cotización RoboForex ¹² la cual es considerada como una fuente de datos secundaria |
| Medición | La forma en la que se mide la rentabilidad diaria de los activos será $\% \text{ de rentabilidad diaria} = \frac{\text{Cotización diaria}_t - \text{Cotización diaria}_{t-1}}{\text{Cotización diaria}_{t-1}}$ |
| Periodo de Estudio | La contrastación de las hipótesis se realiza para un periodo de 7 años comprendido entre el 01-01-2013 al 31-12-2020, para un total de 2088 observaciones ¹³ . |

Fuente: elaboración propia con base en (Funes, 2016)

Análisis estadístico de las series

El objetivo de este apartado, es conocer de manera resumida los principales indicadores estadístico-descriptivos de las series temporales de los activos financieros seleccionados, con el

¹² RoboForex es un bróker que proporciona datos de la cotización en tiempo real de diferentes activos financieros como (Divisas, acciones de empresas, materias primas he índices) para la inversión o especulación de los mismos por medio de las diferentes plataformas ofrecidas por el bróker.

¹³ Cada observación representa el precio de cierre diario de cada activo, por tanto, se estarían analizando alrededor de 2088 días.

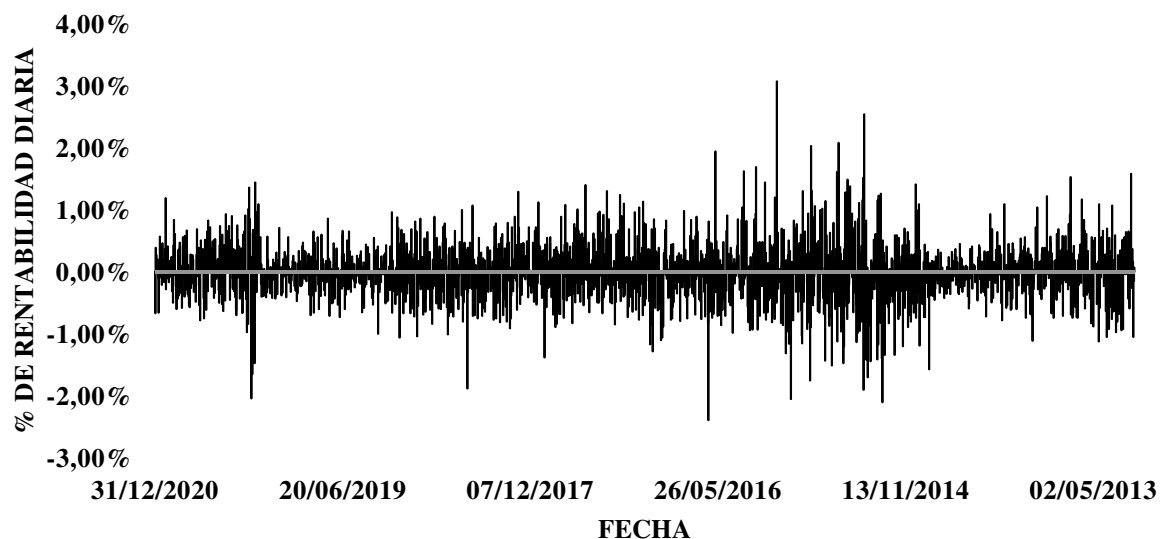
fin de la contrastación de las hipótesis de investigación 1, por lo que se optó por representar en la (Tabla 3) y los (Gráfico 1 y 2), los resultados de los rendimientos de los activos.

(Tabla 3) Estadísticos descriptivos de los activos financieros

| Activo | Media diaria | Desviación std. | Mínimo | Máximo | Rango | Coe.var |
|---------|--------------|-----------------|--------|--------|--------|---------|
| EUR/USD | -0,003% | 0,49% | -2,36% | 3,07% | 5,46% | 163,33% |
| GBP/USD | -0,006% | 0,57% | -8,06% | 3,03% | 11,09% | 95% |

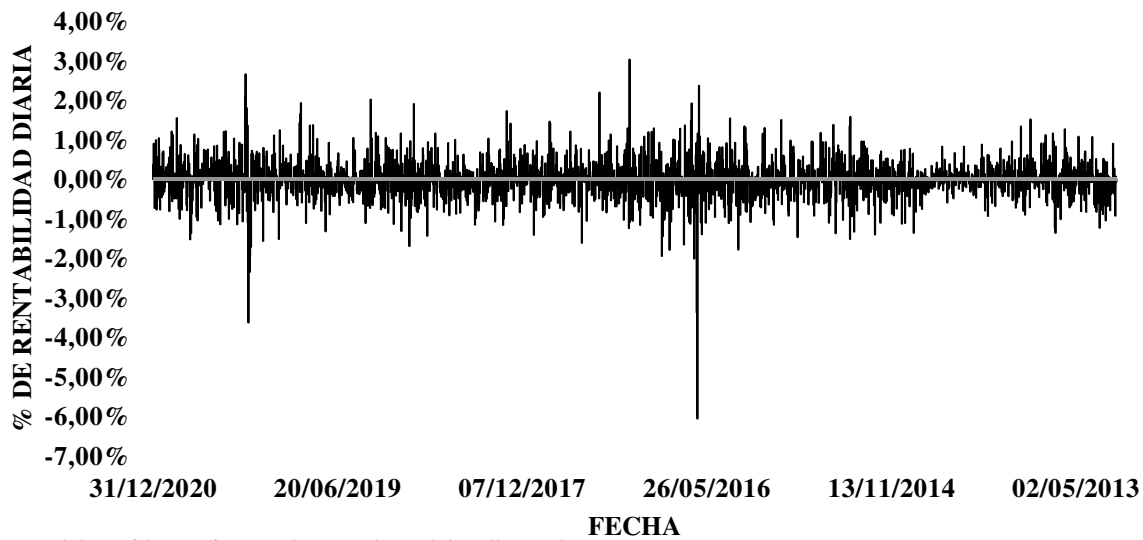
Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

(Gráfico 1) Porcentaje de rentabilidad diaria del Euro/Dólar



Fuente: elaboración propia a con base en datos del Bróker RoboForex

(Gráfico 2) Porcentaje de rentabilidad diaria del Libra/Dólar

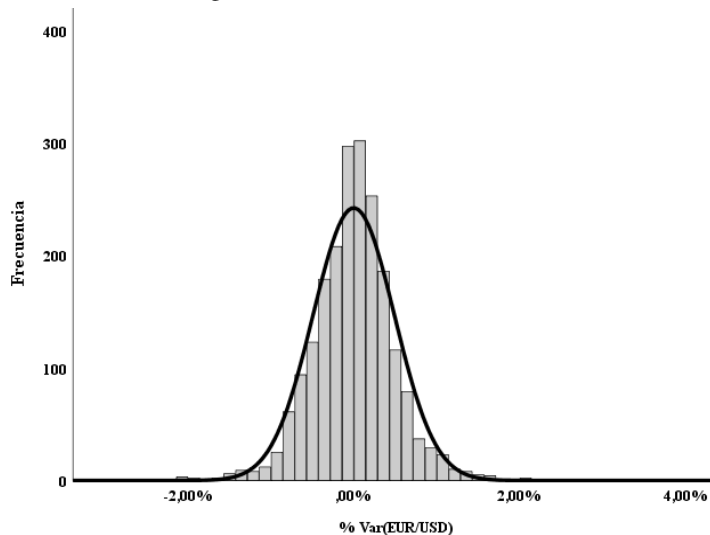


Fuente: elaboración propia a con base en datos del Bróker RoboForex

El tamaño de la muestra de los datos recopilados para este análisis, está comprendido por una serie temporal de 2088 días, por cada uno de los activos financieros, siendo el par de divisas “EUR/USD” el que mejor rentabilidad promedio ha obtenido durante este periodo analizado. Por otra parte el activo que posee menos variabilidad o riesgo de inversión diaria es el par de divisas GBP/USD, puesto que su coeficiente de variación indica una menor volatilidad (relativa), de sus rendimientos respecto al par de divisas EUR/USD.

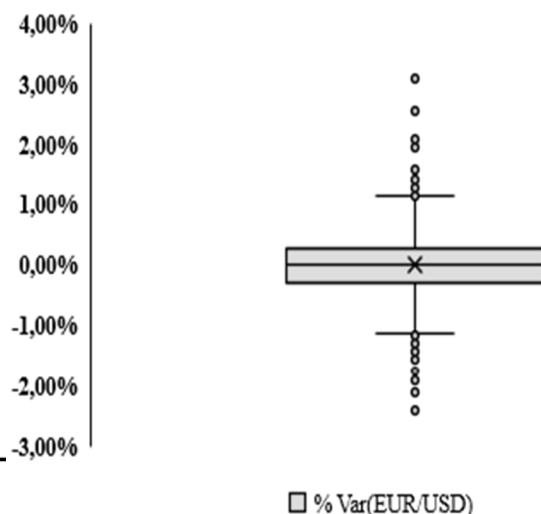
Análisis de frecuencia de las series.

(Grafico 3) Histograma de la serie Euro/Dólar



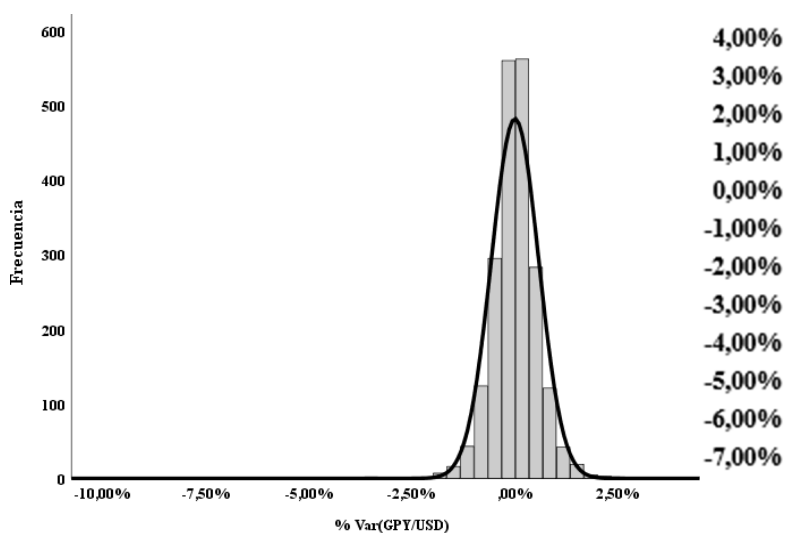
Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 4) Box-Plot Euro/Dólar



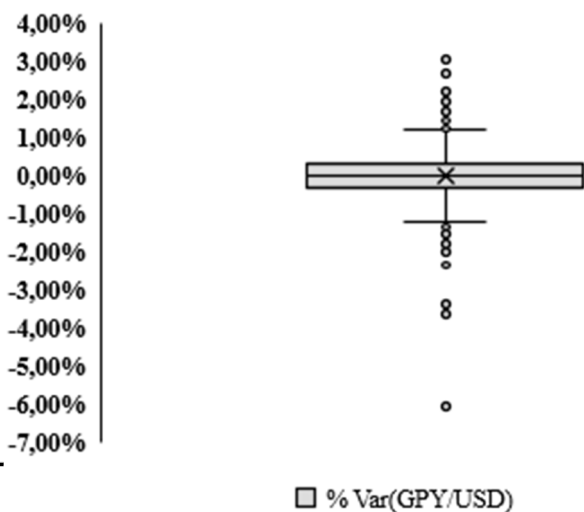
Fuente: elaboración propia a con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 5) Histograma de la serie Libra/Dólar



Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 6) Box-Plot Libra/Dólar



Fuente: elaboración propia a con base en datos del Bróker RoboForex

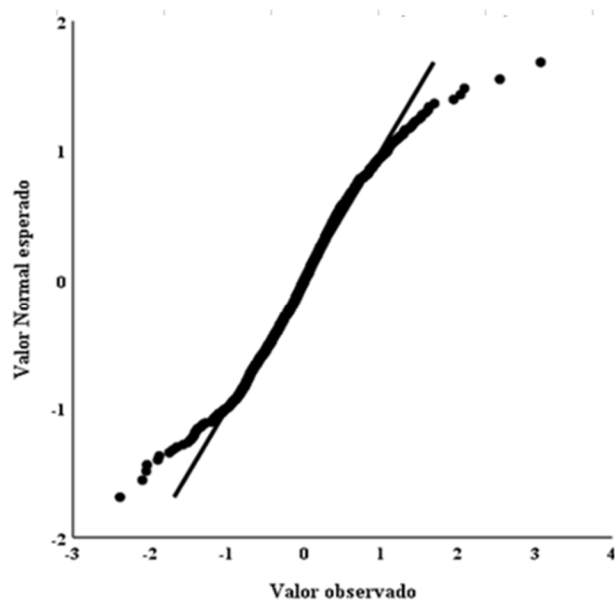
En los análisis de frecuencia representados a través de los (grafico 3-5), de manera visual, se exhibe un comportamiento muy similar al de la distribución de probabilidad normal. No obstante, en los (grafico 4-6) se evidencia una elevada cantidad de datos atípicos, lo que sugiere que dicha similitud a la distribución de probabilidad normal, podría verse afectada debido a la gran cantidad de datos atípicos y/o la gran cantidad de datos empleados en el estudio (Efecto tamaño¹⁴).

¹⁴ Con el efecto tamaño, se hace referencia a la cantidad excesiva de datos para realizar la contrastación de una prueba estadística.

Análisis grafico Q-Q

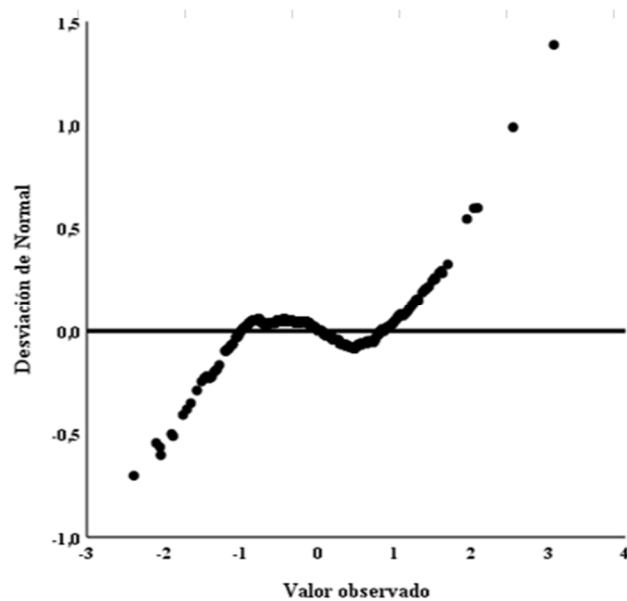
Este tipo gráfico, permite analizar en cuanto difiere la distribución de los datos observados de la muestra total respecto a una distribución de probabilidad normal con la misma media y desviación estándar.

(Grafico 7) Q-Q Euro/Dólar con tendencia



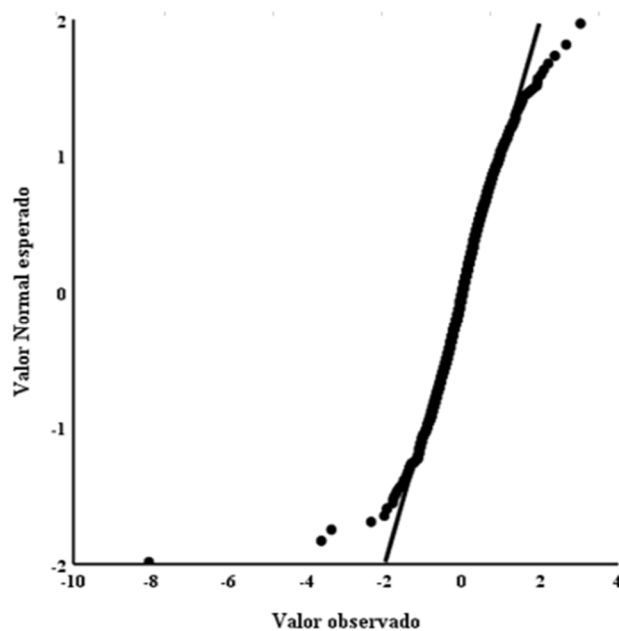
Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 8) Euro/Dólar sin tendencia



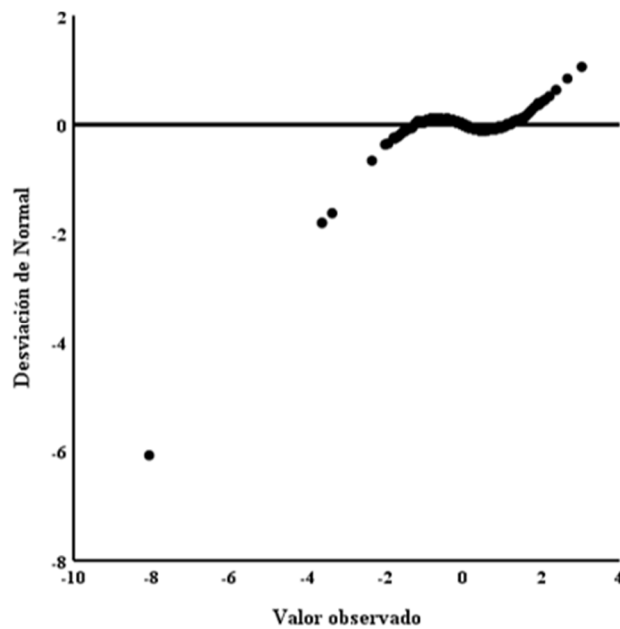
Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 9) Q-Q Libra/Dólar con tendencia



Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

(Grafico 10) Q-Q Libra/Dólar sin tendencia



Fuente: Salidas de SPSS con base en datos del Bróker RoboForex

Teniendo claridad de lo que evalúa este tipo de análisis gráfico y sus representaciones, en el caso del par de divisas EUR/USD y GBP/USD, se puede intuir la existencia de una discrepancia entre la distribución teórica (normal) y la distribución empírica (real) de las rentabilidades diarias de los activos seleccionados, es decir que, posiblemente las rentabilidades diarias pueden que no se ajusten a una distribución de probabilidad normal, debido a que, si estas mismas correspondieran a dicha distribución, la diferencia sería igual a 0, y por tanto todos los valores se encontrarían formando una línea recta.

Prueba de hipótesis de investigación 1 (Supuesto de normalidad)

Como se mencionó anteriormente en el apartado teórico, se llevará a cabo la contrastación de la hipótesis de investigación 1, hipótesis que se desarrollará a través de tres pruebas formales de normalidad: Kolmogórov-Smirnov, Jarque Bera y Anderson-Darling, todas estas aplicadas a las distribuciones de rentabilidades diarias de las series en los activos financieros seleccionados. Es importante resaltar que se busca una consistencia en el resultado conjunto de las tres pruebas formales, puesto que, en estas, “un elevado número de observaciones (efecto tamaño), puede provocar que se declaren como significativas, aquellas pequeñas diferencias entre los valores teóricos y observados. Un motivo de este comportamiento no deseado, es que la media calculada que considera una extensa muestra no tiene apenas variabilidad, y, por tanto, cualquier diferencia encontrada con respecto al valor teórico se clasificaría como significativa” (Funes, 2016).

Test de pruebas de normalidad.

(Tabla 4) Resultados de test de normalidad de los activos financieros.

| TEST | EUR/USD | GBP/USD |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| Numero de Observaciones | 2088 | 2088 |
| Est. Kolmogórov-Smirnov | 0,046 | 0,054 |
| P-Valor | 0,000 | 0,000 |
| Est. Jarque-Bera | 561,4 | 36694 |
| P-Valor | 0,000 | 0,000 |
| Kurtosis | 5,534 | 23,366 |
| Asimetría | 0,088 | -1,325 |
| Est. Anderson-DarLing | 8,146 | 14,462 |
| P-Valor | 0,000 | 0,000 |

Resultado de hipótesis de investigación 1 (Supuesto de normalidad)

Con base en los resultados de la (**Tabla 4**), se evidencia que hay consistencia en las tres pruebas formales de la no normalidad de las distribuciones de los retornos de los activos seleccionados, pues empleando un nivel de significancia del 1%, en todas las pruebas de normalidad en las series, se encuentra evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula del supuesto de normalidad en las series financieras para el periodo de tiempo observado.

Prueba de hipótesis de investigación 2 (Supuesto de fractalidad)

En concordancia con los objetivos de esta investigación de validar una teoría alternativa a la teoría ortodoxa para interpretar el mercado, con la prueba de hipótesis de la investigación 2 se contrastan el supuestos fractalidad¹⁵, a través de las pruebas de invariancia de escala, coeficiente de Hurst y dimensión fractal para la muestra de datos.

Prueba de invarianza de escala

Como se explicó en el apartado teórico del marco metodológico, esta prueba denota a todos aquellos objetos que no cambian, a pesar de que la longitud de su escala sea multiplicada por un factor constante, haciendo que la aplicación de esta prueba lleve a conclusiones cualitativas. Para lograr detectar la invarianza de escala dentro de generadores de datos infinitos como lo son las series de precios analizadas, por tanto, se optó por tomar de manera aleatoria, diferentes fracciones temporales del periodo total del estudio.

Dicho esto, en los (**Gráficos 11-12**) se pueden observar ejemplos de las series de precios de los pares de divisa EUR/USD y GBP/USD, donde se logra apreciar la estructura de los movimientos no cambiante(similares) en niveles de escalas distintas, como es el caso del grafico 6 en el que se muestra cierto grado de similitud entre un movimiento del grafico diario (03/01/2020-24/07/2020) y otro del grafico horario (30/10/2020-05/11/2020) llegando así, a percibir cierto grado de fundamentación fractal . En el (**anexo A**) se presentan ejemplos adicionales que representan de igual manera diferentes fracciones temporales.

¹⁵ Es importante tener en cuenta que alguna de las pruebas utilizadas para validar el supuesto de fractalidad no tiene una distribución de probabilidad asociadas a ellas. No obstante, los procedimientos mostrados en esta investigación son los generalmente empleados en el estado del arte, para el cálculo de la fractalidad.

(Gráfico 11) Prueba de invarianza de escala Euro/Dólar

Gráfico de la izquierda representa el movimiento del para EUR-USD en diarios durante el periodo 21-07-17 al 31-12-2020 y el recuadro hace referencia al periodo del 03-01-2020 al 24-07-2020.

Gráfico de la derecha representa el movimiento del para EUR-USD en 1 hora durante el periodo 19-10-2020 al 10-11-2020 y el recuadro hace referencia al periodo del 30-10-2020 al 05-11-2020.

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma Metatrader 4 Bróker RoboForex

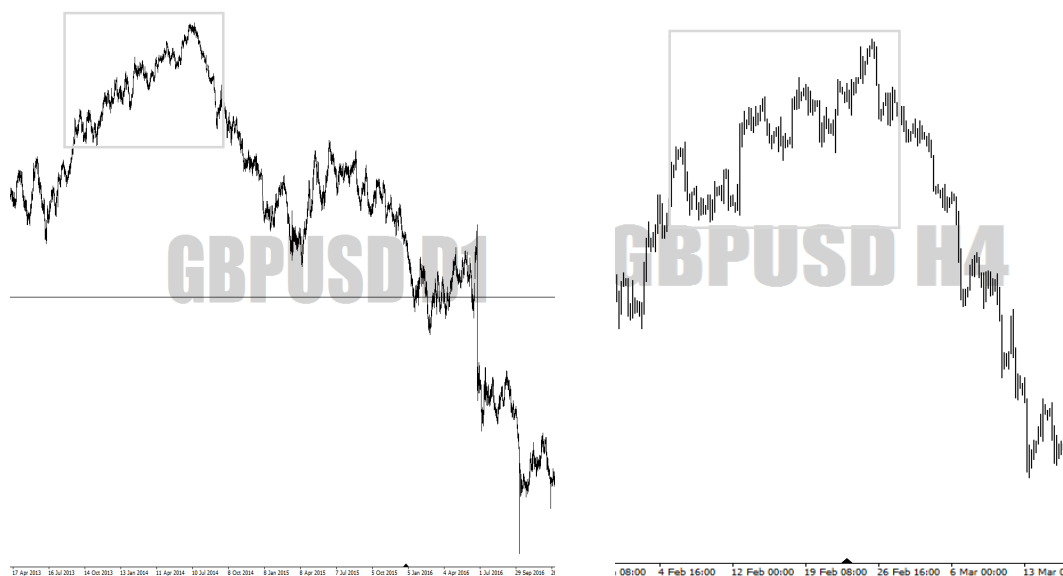
(Gráfico 12) Prueba de invarianza de escala Libra/Dólar

Gráfico de la izquierda representa el movimiento del para GBP-USD en diarios durante el periodo 16-04-13 al 21-12-2016 y el recuadro hace referencia al periodo del 16-09-2013 al 12-09-2014.

Gráfico de la derecha representa el movimiento del para GBP-USD en 4 hora durante el periodo 02-02-2015 al 18-03-2015 y el recuadro hace referencia al periodo del 05-02-2015 al 27-02-2015.

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma Metatrader 4 Bróker RoboForex

Cálculo del coeficiente de Hurst y dimensión fractal.

El objetivo de estas pruebas es el de detectar si las distribuciones de las rentabilidades de los activos siguen o no un comportamiento fractal. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los activos seleccionados al aplicar el coeficiente de Hurst¹⁶.

Así pues, se realiza la prueba sobre la serie de datos de precios diarios de las 2088 observaciones, y se adicionan las transformaciones semanales y mensuales de dicha serie, esto con la finalidad de comprobar que dicha fractalidad se presenta independientemente del periodo de análisis (es decir que la fractalidad es infinita).

Las series fueron las siguientes:

- Diario: se consideraron particiones al cierre de cada día bursátil para un total de 2088 días.
- Semanal: se adoptaron cierres semanales para un total de las 417 semanas.
- Mensual: se adoptaron cierres mensuales para un total de los 96 meses.

En la **(Tabla 5)** se muestran los resultados del cálculo recordando que, de acuerdo a la teoría, el rango de clasificación es el siguiente:




Coeficiente $0.5 < (H) \leq 1$ Persistente

Coeficiente $(H) = 0.5$ Aleatorio

Coeficiente $0.5 > (H) \geq 0$ Anti-persistente.

(Tabla 5) Coeficiente de Hurst por activo y partición

| | D1 | W1 | M1 | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| EUR/USD | 0.5659 | 0.5768 | 0.6118 | 0.5848 |
| GBP/USD | 0.5520 | 0.6232 | 0.6359 | 0.6037 |
| Promedio | 0.5590 | 0.6000 | 0.6238 | |

| | |
|---|------------------|
|  | Aleatorio |
|  | Persistente |
|  | Anti-persistente |

Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

¹⁶ El cálculo de este, se realizó por medio del software econométrico GRETL.

Los resultados presentados en la **(Tabla 5)**, muestran como los activos seleccionados son persistentes en cada una de las temporalidades o particiones analizadas, de esta manera se puede intuir que, con base a los resultados, el precio de los activos presenta memoria a largo plazo.

Por otra parte, en la tabla siguiente **(Tabla 6)**, se observa el cálculo de la dimensión fractal con los promedios del cálculo del coeficiente de Hurst de cada activo, el cual permitirá saber el grado de variabilidad de la serie, es decir que indica que tan diferente puede ser un patrón observado de otro (Piskarev, 2017).

(Tabla 6) Resultados de la dimensión fractal por activos

| Activo | Prom. Coef. de Hurst | Dimensión Fractal |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------|
| EUR/USD | 0.5848 | 1.4152 |
| GBP/USD | 0.6037 | 1.3963 |
| Promedio | | 1.4057 |

Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

De acuerdo con estos resultados, de manera general se puede entrever que, los patrones que se presenten en estos activos, tenderán a variar en 1,4057 veces su tamaño, siendo más grandes o más pequeños.

De esta manera, se puede decir que, posiblemente los activos financieros analizados, si presentan un comportamiento fractal, puesto que los movimientos pasados influyen en los movimientos futuros, permitiendo la creación de patrones repetitivos en el tiempo.

Resultado de hipótesis de investigación 2 (Supuesto de fractalidad)

De conformidad con los resultados obtenidos en la pruebas realizadas (Prueba de invarianza de escala, Coeficiente de Hurst y dimensión fractal), se puede intuir que los retornos de las series de precios en el rango de tiempo analizado, presentan una posible evidencia de persistencia en sus retornos, lo que sugiere que las series probablemente no son aleatorias en todos los momentos de sus distribuciones, pues hay evidencia de que estas tienen memoria a largo plazo y por tanto se rechazar la hipótesis nula de investigación 2, indicando así, que las series de precios presentan evidencia de un comportamiento fractal en el periodo estudiado.

Creación y evaluación del sistema de trading bajo el enfoque fractal

Ya realizadas las contrastaciones teóricas necesarias, se procede a la explicación de la metodología trazada para la creación del sistema, para esto se hace uso de una estrategia cuantitativa (basada en datos) que permita eliminar la subjetividad al momento de la toma de decisiones de compra o venta al instante de operar en el mercado bursátil, y de esta manera dar cumplimiento al segundo objetivo de esta investigación. Así pues, se iniciará con la descripción de la población a aplicar la estrategia, el método de recolección de datos, el patrón fractal y la composición del mismo, el conjunto de parámetros o variables a usar, el análisis y selección del modelo y por último la evaluación y gestión del riesgo al modelo elegido para operar en el mercado real.

Población

Dado el carácter específico de la investigación, los activos con los que se realizara la segunda fase de la metodología se describen en la (**Tabla 7**), como ya se ha mencionado se eligen estos activos debido a su liquidez, fácil accesibilidad y bajos requerimiento de capital para su operación por parte de los brókeres.

(**Tabla 7**) Activos a emplear en la investigación.

| Activo | Símbolo | Tipo | Descripción |
|--------------------------------------|---------|--------|--|
| Euro contra el Dólar estadounidense | EUR/USD | Divisa | Tipo de cambio existente entre el Euro y el Dólar Americano |
| Libra contra el Dólar Estadounidense | GPB/USD | Divisa | Tipo de cambio existente entre la Libra Esterlina y el Dólar Americano |

Fuente: elaboración propia

Recolección de datos

En cuanto a la extracción de los datos para el análisis y operativa de los activos, se hace uso del bróker RoboForex, pues este al igual que otros proveedores de datos, es un bróker especializado

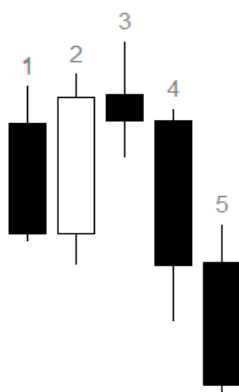
en CFDs¹⁷ los cuales son productos que replican el movimiento del activo real, permitiendo el uso del apalancamiento para con pequeños capitales poder especular a favor o en contra de los movimientos del precio, disminuyendo así las restricciones de capital. Por lo que se usarían los CFDs de los activos expuesto en la (Tabla 7).

Por otro lado, este bróker también facilita el uso de la plataforma y herramienta de representación gráfica en tiempo real (Metatrader 4), con la que se facilitará la detección del patrón a operar, y la ejecución del backtesting manual, que será la metodología a emplear para la obtención de los datos y poder comprobar el desempeño de las diferentes estrategias a analizar, para los años 2018, 2019 y 2020, en los pares de divisas EUR/USD y GBP/USD en la temporalidad de H1¹⁸.

Patrón

Como ya se ha mencionado en este trabajo, la hipótesis con la que se intenta entender y explicar los movimientos del mercado es por medio de la hipótesis fractal, dado que partimos del supuesto de que esta brinda un acercamiento más real y preciso de los acontecimientos del mercado financiero, y para esto se hace uso del patrón fractal expuesto por Bill Williams (2004), pues como se muestra en la (Figura 3), Williams plantea que la formación de un fractal está compuesta por la unión de 5 velas sucesivas, en el que el valor máximo de la vela (3) deberá ser superior a los valores máximos formados por las velas (1 y 2) y (4 y 5).

(Figura 3) Representación del patrón fractal



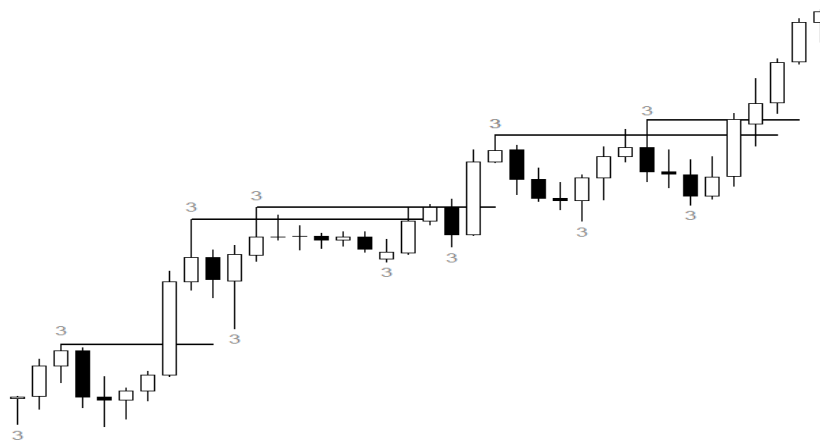
Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

¹⁷ Los CFDs o contratos por diferencias son productos que replican el movimiento real del activo principal permitiendo la compra o venta del activo sin acceder de forma física a este.

¹⁸ La Temporalidad H1 hace referencia al periodo de tiempo que debe transcurrir para formación de una nueva vela en el mercado, por tanto, cada 60 min se crea una vela.

Indicando que el rompimiento sucesivo de los mismos, ayudaría a determinar la dirección de la tendencia y el momento de entrar al mercado, gracias al momentum¹⁹ generado por el rompimiento consecutivo de fractales más altos o más bajos como se muestra en la **(Figura 4)**

(Figura 4) Rompimiento sucesivo de fractales



Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

Ahora bien, para fines de esta investigación se presenta una modificación en la definición del patrón, pues empíricamente esta modificación permite una mayor detección²⁰ del patrón, dicha modificación definirá a un fractal como el punto más alto entre 3 velas, indicando que el valor máximo de la vela 2 deberá ser mayor a los valores máximos formados por las velas 1 y 3 como se muestra en la **(Figura 5)**.

(Figura 5) Patrón Fractal Modificado



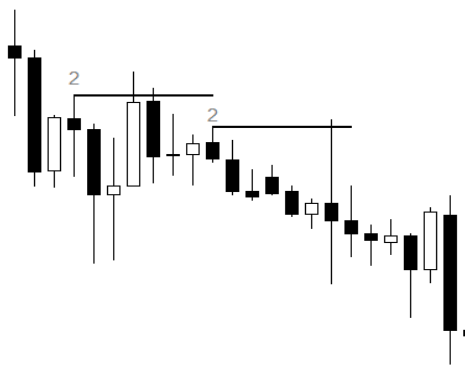
Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

¹⁹ El momentum indica la tasa de aceleración o volumen de un activo en un momento dado alertando al operador sobre una posible entrada al mercado

²⁰ De acuerdo a la observación en la formación de más de 1000 patrones fractales, se analizó que al emplear 3 velas en su cálculo y no las 5 propuestas por Bill willians (2004) se tiene una mayor frecuencia del patrón observado, siendo esto preferible para el objetivo del estudio.

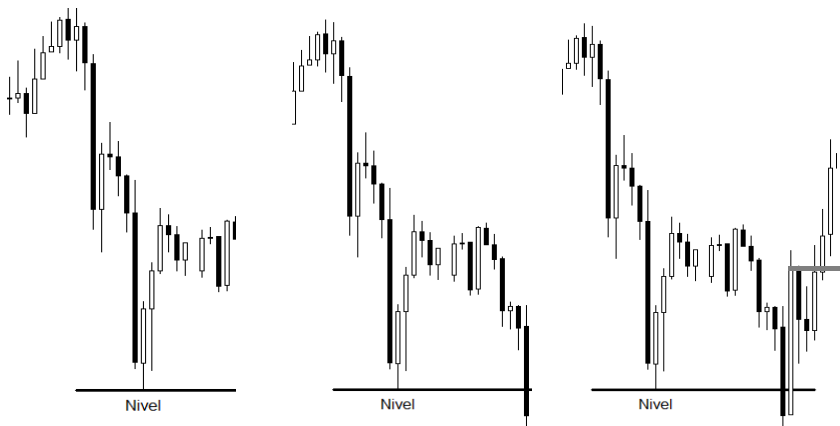
Además, la detección de este ya no se empleará para señalar rompimientos, sino para determinar puntos de falsos rompimientos o engaños de movimientos, los cuales son puntos ampliamente estudiados en el análisis técnico para identificar la actividad de los traders institucionales²¹, en la (Figura 6) se muestra este falso movimiento y en la (Figura 7) se evidencia paso a paso su detección.

(Figura 6) Falso rompimiento del patrón fractal



Fuente: elaboración propia con base en datos del Bróker RoboForex

(Figura 7) Representación en el mercado real de la formación del patrón a operar



- 1 Se establece un nivel representado por una línea en un punto máximo o mínimo del patrón fractal detectado
- 2 El precio rompe el nivel incitando ventas por parte de los especuladores, muchos entran en ventas
- 3 El mercado se regresa dejando a los que compraron atrapados (perdieron dinero)
- 4 La formación del patrón termina cuando cierra la primera vela blanca por encima del nivel y contraria al rompimiento (línea gris)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plataforma metatrader 4 Bróker RoboForex

Es importante destacar que se cataloga a este rompimiento o movimiento como falso puesto que, este no continúa la dirección de la tendencia en la que se rompe el fractal, indicando una lógica de mercado, dado que con este patrón se pretende representar el engaño de los traders

²¹ Traders institucionales es el nombre con el cual se refieren a los traders de los fondos de cobertura, bancos privados y fondos de inversión.

institucionales a los traders minoristas, al intentar incitar la compra o venta del activo por parte de los especuladores, que al ver el rompimiento de un nivel máximo o mínimo entraran al mercado a favor de dicho rompimiento, para que más tarde el mercado se gire, dejando a todos los que entraron con pérdidas de dinero al ir el mercado en el sentido contrario.

Parámetros

Ahora bien, en cuanto a los parámetros a tener en cuenta al momento de recolectar la información para la creación del modelo, se hará inicialmente el uso de 7 parámetros, que permitirán evaluar la rentabilidad del patrón seleccionado y a delimitar de mejor manera las características de la formación del mismo, haciendo que el análisis del patrón sea más objetivo y por tanto replicable, lo que es importante, puesto que al mercado presentar características de dimensión fractal, los patrones observados tenderán a sufrir grandes o pequeños cambios en su formación.

En consecuencia, los parámetros serán: fecha, hora, activo, gatillo, estado del mercado (tendencia o rango), stop loss²² y take profile²³.

Fecha: este parámetro indica la fecha en la que se abre una operación, este dato aporta mucha información puesto que permitirá saber qué días de la semana entrar a un comercio o no, al igual que saber qué meses o años han sido más o menos beneficiosos para el sistema de especulación.

Hora: este parámetro indicara la hora de entrada al mercado luego de la formación de un patrón y al igual que el anterior, servirá para filtrar aquellas horas en las que se presente el patrón, pero la probabilidad de ganancia sea menor.

Activo: con este parámetro podremos identificar el nombre del activo en el que se presenta el patrón y así identificar dentro de la cartera que activo registra las mayores pérdidas o ganancias.

Gatillo: el gatillo hace referencia a la forma con la que se activa el patrón indicando el momento de abrir una operación de compra o venta al mercado según sea la dirección de la señal, para esta estrategia, el gatillo será la primera vela que cierre por encima del nivel, en la dirección contraria al rompimiento del mismo como se indica en la **(Figura 7)**.

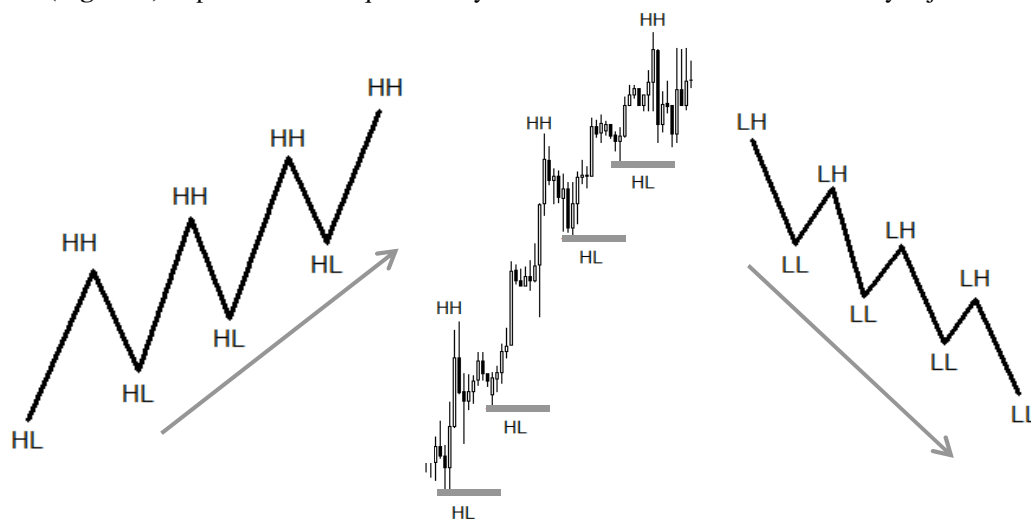
²² Stop loss o límite de pérdidas indica la cantidad de dinero o números de Pips que el especulador está dispuesto a arriesgar por operación.

²³ Take profile o recogida de beneficios hace referencia a la ganancia que el especulador espera obtener luego de haber realizado una inversión.

Estado del mercado: este parámetro indica si la tendencia es alcista o bajista y de acuerdo a esto, se busca operar patrones cuyo sentido sea acorde a la tendencia predominante, permitiendo filtrar algunas señales.

Ahora bien, para la definición y detección de una tendencia se usara la propuesta por Dow, pues este indicaba que una “tendencia alcista, seria aquella que presentase una consecución de altos más altos y bajos más altos, mientras que, en una tendencia bajista, abrían altos más bajos y mínimos más bajos” como se muestra en la **(Figura 8)** (Murphy, 1999).

(Figura 8) Representación esquemática y real del mercado en tendencia alcista y bajista



Divisa (EUR/USD) temporalidad de 4 horas (H4)

HH: Alto más alto

HL: Alto más bajo

LL: Bajo más bajo

LH: Bajo más alto

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma metatrader 4 Bróker RoboForex

Stop loss: este parámetro se mide en pips y nos indica la distancia existente entre el precio de entrada y el precio de pérdida aceptada, sin embargo, dado la fractalidad del mercado este dato puede variar según sea el tamaño del patrón observado, por tanto, la medición de este parámetro se interpretará como el ratio de pérdida aceptada, el cual será del 1% del capital de la cuenta. (No necesariamente tiene que ser el 1% del capital, este puede ser menor o mayor, lo importante es que se mida en tanto por ciento del capital de la cuenta para así tener una medida normalizada del parámetro)

Take profile: al igual que el parámetro anterior, este estará medido en pips, y indicará la distancia entre el precio de entrada al mercado y el recorrido positivo máximo que realizó el precio,

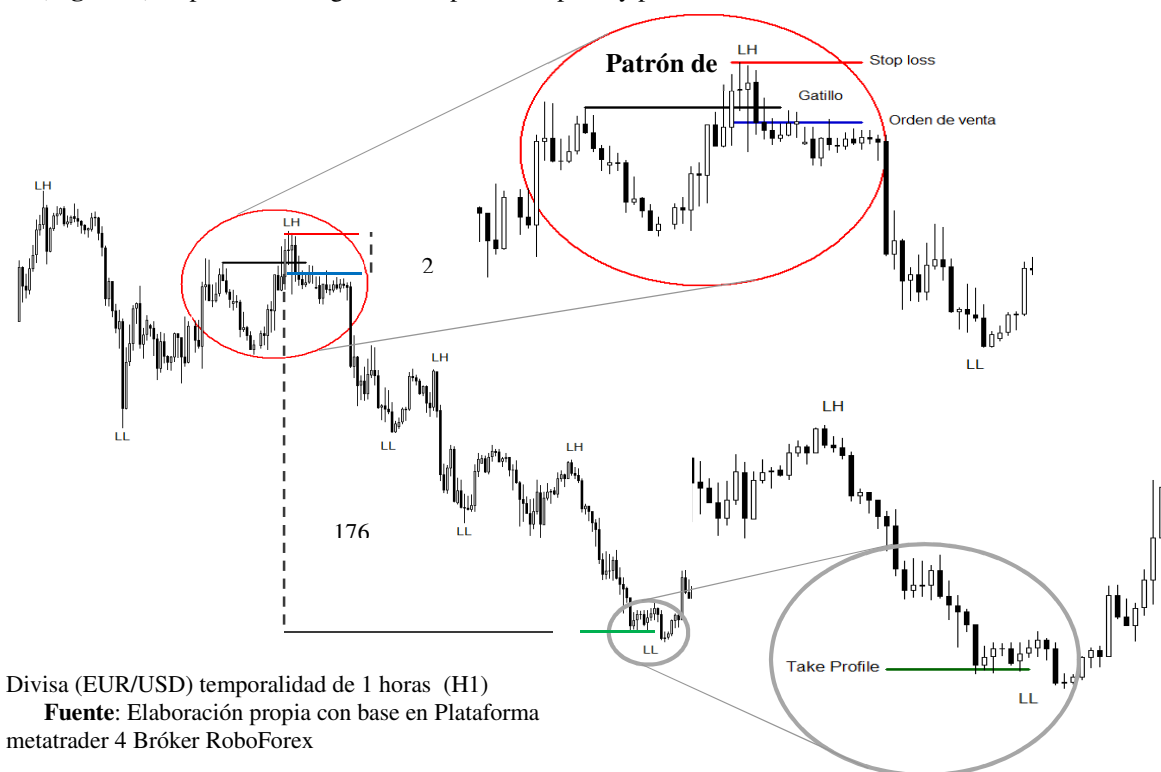
antes de retroceder o formar un patrón en sentido contrario, no obstante, para tener medidas más objetivas y acordes con el parámetro anterior, se divide el recorrido del Take profile entre el recorrido del Stop loss, obteniendo de esta manera el ratio de beneficio. Así pues, si con el stop loss se arriesga un tanto por ciento de la cuenta, con el take profile se ganaría otro tanto por ciento de la cuenta, de esta manera los ratios podrían ser 1:1, 2:1, 3.4:1 hasta N: 1, logrando evaluar diferentes estrategias para un mismo patrón, lo que es interesante debido a que, al solo cambiar el ratio de beneficio riesgo los resultados finales pueden ser muy diversos para cada estrategia.

Para tener una idea más clara del patrón y parámetros descritos, en la **(Figura 9)** se puede ver un ejemplo de este.

En esta figura se observa, la identificación del patrón y parámetros a medir en el gráfico en tiempo real, así pues vemos que se identifica la existencia de una tendencia bajista mediante la secuencia de altos más bajos (LH) y mínimos más bajos (LL), una vez dada esta condición, se inicia con la búsqueda del patrón en los puntos más altos de la tendencia bajista, el paso a seguir, sería la activación del patrón por medio del gatillo que serviría como señal de entrada al mercado, para esta investigación, el gatillo será la primera vela negra o blanca que cierre a favor de la tendencia, para el ejemplo la primera vela negra.

Ahora que ya se ha identificado la tendencia, el patrón y el gatillo, lo siguiente será establecer una orden directa al mercado.

(Figura 9) Representación gráfica del patrón a operar y parámetros a medir.



Dado que el patrón es bajista la orden sería de venta y estaría representada por la línea azul, al mismo tiempo se establece la orden de stop loss que estará en el máximo que forma el patrón a 21 pips (línea roja) y la orden de take profile cuyo máximo recorrido fue de 176 pips (línea verde). Ya establecidas estas órdenes, será necesario estandarizar dichas medidas, dado las fractalidades del mercado, por tanto, si el capital de la cuenta fuese de 1000 dólares y se decide arriesgar el 1 por ciento por operación, se divide el recorrido máximo entre la entrada y el take profile (176 pips), sobre la distancia de la entrada al stop loss (21 pips) y esto daría 8.38, indicando que el ratio riesgo-beneficio sería de 8.38:1, es decir que por cada 1 por ciento que se pierda, es posible ganar 8.38 por ciento el riesgo asumido.

De esta manera sería como recolecta los datos para la evaluación de la estrategia.

Modelos

Ahora bien, es importante resaltar que los diferentes modelos que se probaran bajo el patrón fractal descrito, se diferenciaran según sea el ratio de beneficio/riesgo que se asuma para cada una de ellos, para fines de esta investigación se evaluarán 6 modelos cuyos ratios de beneficio serán 3:1, 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 y 18:1, en un tanto por ciento de riesgo por operación, inicialmente se evalúan con un 1% de riesgo y conforme avance el análisis este tenderá a disminuir en función de los resultados y riesgo que se desee asumir, de acuerdo con esto, se puede percibir que el parámetro que diferenciara cada uno de estos modelos es el Take Profile, cuyo cálculo se explicó dentro de los parámetros del patrón.

Análisis

Una vez se realiza el backtesting manual y se recogen los datos de los diferentes parámetros, el siguiente paso será realizar el análisis por medio de la herramienta Excel de los modelos logrados a partir de los diferentes ratios, y para esto se divide el análisis en dos etapas, en la primera etapa se realiza un acercamiento a los resultados eligiendo aquellos modelos, para ambos activos (EUR/USD y GBP/USD) que presenten la menor cantidad de rechas perdedoras, el mejor porcentaje de aciertos y un beneficio razonable, lo que permitirá validar que el patrón fractal observado, no solo es una pauta presente en el EUR/USD sino que es una falla a la estructura del mercado haciendo más consistente o robusto al patrón fractal analizado. En la segunda etapa se realiza un filtro horario de a los modelos seleccionados, con la finalidad de ajustar los modelos a

la realidad operativa del trader, además se analizan las distribuciones de rachas, rentabilidades mensuales y anuales de ambos pares como un todo, con la finalidad de crear un producto compuesto por ambos pares y así estar operando en las divisas más fuertes²⁴ a nivel mundial (USD, EUR Y GBP). De esta manera, como resultado de este proceso se elegirá el modelo que menor Drawdown²⁵ presente en su revisión, para que este pase a una etapa final de evaluación y gestión de riesgo, en la que se determine si el modelo es acto o no para su operación en mercado real, como se mencionó en el apartado de creación y evaluación de modelos.

Resultados primera etapa

Una vez desarrollado el Backtesting en el periodo de tiempo seleccionado (2018 – 2020), bajo las métricas descritas en el apartado de parámetros del modelo, se obtuvieron un total de 2675 operaciones distribuidas entre los pares analizados a un 1% de riesgo por operación como se mencionó en el apartado de modelos, en las (Tablas 8 - 9) se observan los resultados obtenidos para los 6 modelos estudiados.

(Tabla 8) Resultados de Backtesting para par de divisas GPY/USD.

| # Operaciones | 1415 | CUADRO RESUMEN GPY/USD | | | | | |
|----------------------|------|------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Rat. de Riesgo | 1% | Mod3 | Mod6 | Mod9 | Mod12 | Mod15 | Mod18 |
| P | | 957 | 1154 | 1255 | 1307 | 1341 | 1362 |
| G | | 458 | 261 | 160 | 108 | 74 | 53 |
| Rach Max P | | 15 | 35 | 70 | 70 | 118 | 118 |
| Rach Max G | | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Porc P | | 67,6% | 81,6% | 88,7% | 92,4% | 94,8% | 96,3% |
| Porc G | | 32,4% | 18,4% | 11,3% | 7,6% | 5,2% | 3,7% |
| Min Beneficio | | 3% | -12% | -29% | -118% | -231% | -408% |
| Max Beneficio | | 422% | 418% | 198% | 84% | 55% | 6% |
| Beneficio | | 417% | 412% | 185% | -11% | -231% | -408% |

Fuente: elaboración propia

²⁴ Al indicar al (USD, EUR y GBP) como las divisas más fuertes, se hace alusión a las más transadas a nivel mundial de acuerdo con Statista (2021).

²⁵ El Drawdown o pérdida máxima se refiere al porcentaje máximo perdido luego de pasar por una racha de pérdidas consecutivas

(Tabla 9) Resultados de Backtesting para par de divisas EUR/USD.

| # Operaciones | 1260 | CUADRO RESUMEN EUR/USD | | | | | | |
|---------------|------------------|------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Rat. de Riesgo | 1 | Mod3 | Mod6 | Mod9 | Mod12 | Mod15 |
| | S | | 760 | 933 | 1040 | 1103 | 1155 | 1180 |
| | E | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | G | | 500 | 327 | 220 | 157 | 105 | 80 |
| | Rach Max P | | 14 | 27 | 64 | 64 | 113 | 115 |
| | Rach Max G | | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | Porc P | | 60,3% | 74,0% | 82,5% | 87,5% | 91,7% | 93,7% |
| | Porc G | | 39,7% | 26,0% | 17,5% | 12,5% | 8,3% | 6,3% |
| | Min Beneficio | | -4% | -5% | -5% | -7% | -11% | -145% |
| | Max Beneficio | | 742% | 1032% | 947% | 798% | 437% | 282% |
| | Beneficio | | 740% | 1029% | 940% | 781% | 420% | 260% |

Fuente: elaboración propia

Donde se puede analizar las métricas más importantes al momento de seleccionar un sistema, pues ayudan a tener una idea de si el modelo sin optimización alguna puede llegar o no a ser rentable, tales métricas son: Nivel de riesgo por operación, número de operaciones, número de rachas de operaciones ganadoras y perdedoras, porcentaje del número de operaciones perdedoras y ganadoras al igual que el nivel de beneficio.

Así pues se ve que los modelo **M12**, **M15** y **M18** del par **GBP-USD** (Tabla 12), presentan un alto incremento de rechas negativas y bajo porcentaje de operaciones ganadoras, dando como resultado beneficios negativos, Un comportamiento similar se presenta en el par **EUR-USD** (Tabla 9) no obstante, en este se presentan beneficios positivos aunque menores a los presentados por las modelo **M6** y **M9** del mismo par, mostrando estos últimos un mejor comportamiento en cada una de sus métricas en ambos pares respecto a los modelos ya mencionados **M12**, **M15** y **M18**.

De acuerdo con lo anterior se optó por elegir los sistemas que mantuvieran un equilibrio en cada una de las métricas analizadas para ambos pares de divisas, esto con la finalidad de lograr beneficios pero manteniendo en lo posible un bajo riesgo y un mejor porcentaje de aciertos, por tanto de manera comparativa los modelos que presentaron mayor relevancia en cada una de sus métricas para ambos pares en el periodo analizado, fueron **M3** y **M6** pues como se ve en ambas tablas, estos tienen el menor número de racha de operaciones perdedoras, la mejor distribución en su porcentaje de aciertos y el mayor porcentaje de beneficio, Por lo que serán los seleccionados para el análisis de la siguiente etapa en la creación del modelo a operar.

Resultados segunda etapa

De acuerdo con los resultados del apartado anterior, en esta etapa se evalúan las divisas como un activo compuesto, pues como se indica en el apartado de análisis, no se busca elegir entre las dos divisas sino entre modelos, pues la finalidad es invertir en los pares de divisas más fuertes. Asimismo, también se intenta ajustar los resultados de los modelos seleccionados, a la realidad del trader, empleándose para tal fin, un filtro horario, pues se entiende que, al ser un sistema manual y no automatizado, resultaría imposible operar en todas las oportunidades de compra y venta al mercado. En la (Tabla 10) se representa el cambio horario de la plataforma versus la hora local. Además, también en esta etapa una vez realizado dicho filtro se analiza las distribuciones de las operaciones por hora, la distribución del beneficio por hora y mes y la distribución de rechas, para de esta manera seleccionar el modelo que mejor comportamiento presente en los periodos analizados.

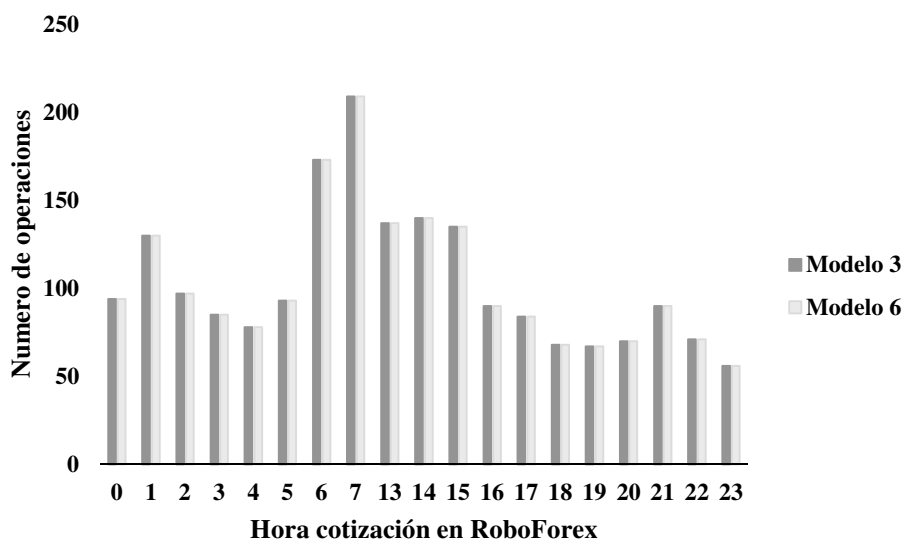
(Tabla 10) Zona horaria del Bróker vs la hora local.

| Horario De Operación | |
|----------------------|-------------|
| Hora Bróker | Hora Local |
| 11:00 p. m. | 3:00 p. m. |
| 12:00 a. m. | 4:00 p. m. |
| 1:00 a. m. | 5:00 p. m. |
| 2:00 a. m. | 6:00 p. m. |
| 3:00 a. m. | 7:00 p. m. |
| 4:00 a. m. | 8:00 p. m. |
| 5:00 a. m. | 9:00 p. m. |
| 6:00 a. m. | 10:00 p. m. |
| 7:00 a. m. | 11:00 p. m. |
| 1:00 p. m. | 5:00 a. m. |
| 2:00 p. m. | 6:00 a. m. |
| 3:00 p. m. | 7:00 a. m. |
| 4:00 p. m. | 8:00 a. m. |
| 5:00 p. m. | 9:00 a. m. |
| 6:00 p. m. | 10:00 a. m. |
| 7:00 p. m. | 11:00 a. m. |
| 8:00 p. m. | 12:00 p. m. |
| 9:00 p. m. | 1:00 p. m. |
| 10:00 p. m. | 2:00 p. m. |

Fuente: elaboración propia con base en el Bróker RoboForex

En el **(Grafico 13)** se puede observar la distribución del número de operaciones por hora luego de realizar el filtro horario de acuerdo a los requerimientos del operador, siendo este un punto importante, pues al eliminar el periodo de tiempo elegido entre las 8am y las 12pm (Hora Bróker), se pierde una cantidad de 708 operaciones de la totalidad de 2675 operaciones iniciales.

(Grafico 13) Numero de operaciones por hora

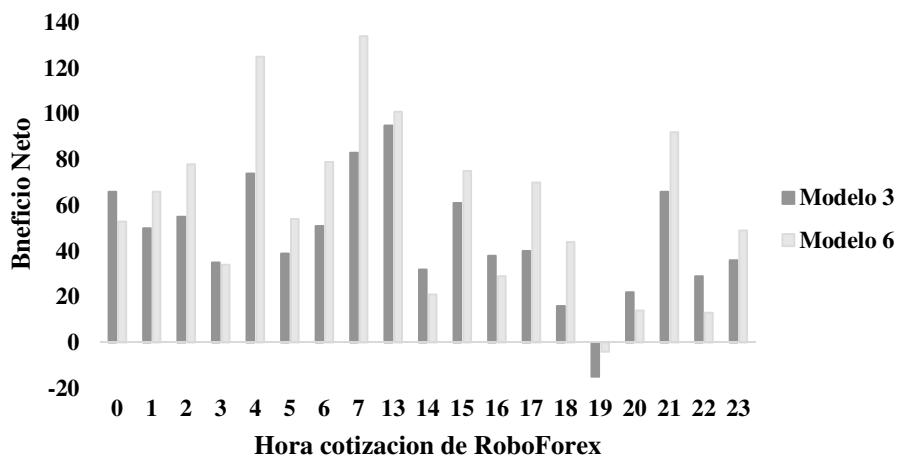


Fuente: elaboración propia con base en los resultados del Backtesting

Adicionalmente, se puede analizar que la mayor concentración en número de operaciones, se encuentra situada entre las 6am y 7am (Hora Bróker), horario que coincide con la apertura de la bolsa de valores de Londres y new york lo que asegura una mayor liquidez al momento de operar.

En el grafico **(Grafico 14)** se puede observar la distribución del beneficio neto por hora, siendo este análisis importante, dado de que permite determinar en qué rango de horas, el patrón ha presentado un mejor comportamiento(rentabilidad).

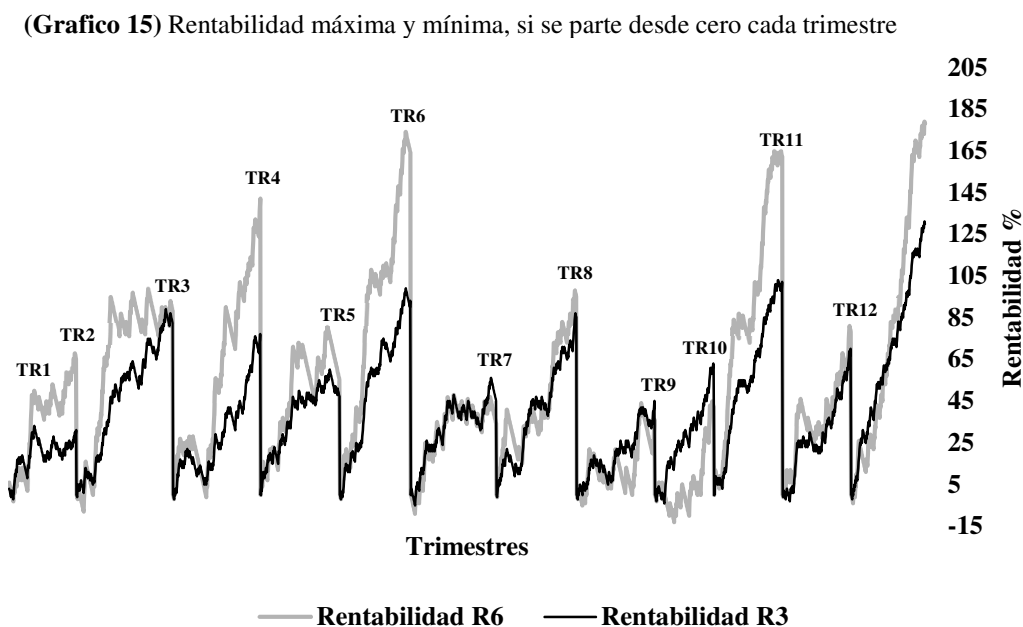
(Grafico 14) Distribución de beneficio neto por hora



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del Backtesting

Así pues, el modelo 6 presenta un mayor beneficio neto por horas que el modelo 3, esto en parte se debe a que como se explicó en el apartado de modelos, el modelo 6 intenta capturar el doble de beneficio que el modelo 3, adicionalmente se puede ver un beneficio neto negativo a las 19 horas Bróker, teniendo un menor efecto en el modelo 6. No obstante esto no será un determinante principal en la elección del modelo final

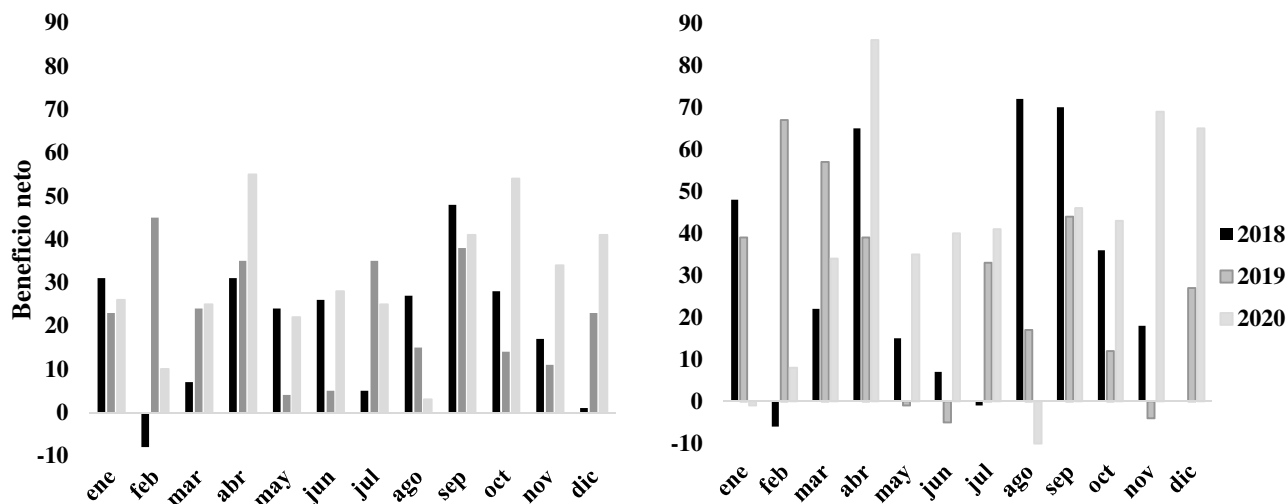
En el **(Grafico 15)** se puede denotar que los modelos muestran una rentabilidad positiva al finalizar cada trimestre, esto resulta interesante puesto que, si se partiera de cero en cualquiera de los 12 trimestres los resultados serían positivos al finalizar el mismo. Siendo esto una prueba de robustez para el modelo.



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del Backtesting

No obstante, este hecho no quita la posibilidad de que en los periodos analizados no exista rendimientos negativos, pues como se ve en el **(Grafico 16)** se evidencia meses con beneficios negativos, dichos rendimientos se presentan con mayor frecuencia en el modelo 6, indicando un mayor grado de dispersión en los rendimientos que refleja la volatilidad del modelo, y por tanto un mayor riesgo, a pesar de su rentabilidad.

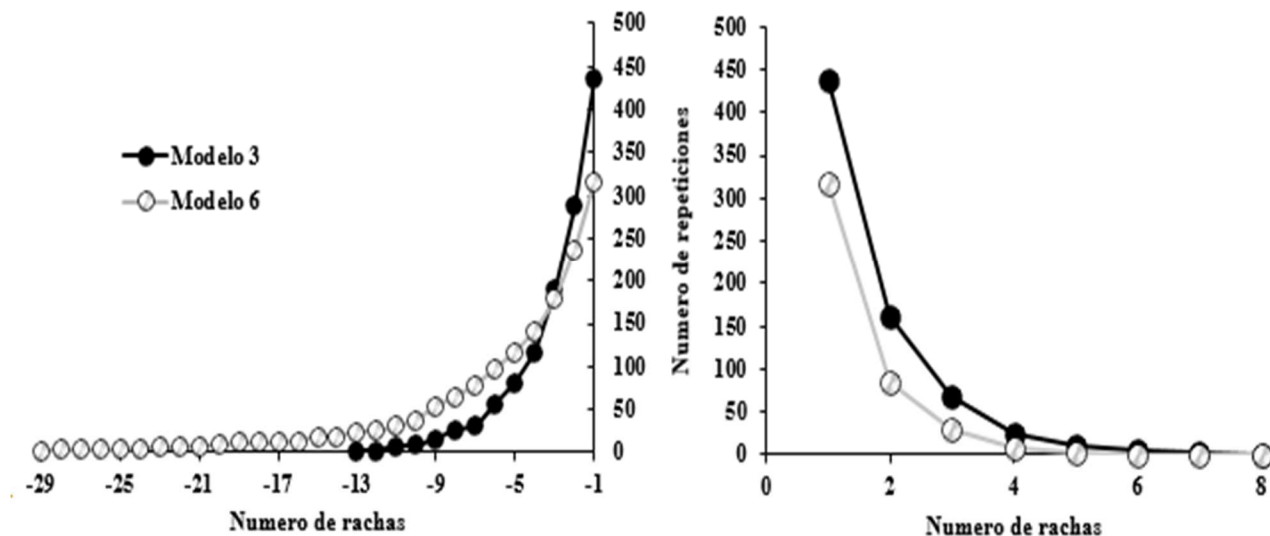
(Grafico 16) Distribución de beneficio neto por mes y



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del Backtesting

En el (grafico 17) se puede observar la distribución rachas ganadoras o perdedoras, entendida como número de veces que repite de manera consecutiva una o más operaciones perdedoras o ganadoras. Métrica que es importante, pues no solo permite determinar la reducción máxima que puede experimentar el modelo, sino también ver el resultado más esperado al entrar al mercado.

(Grafico 17) Distribución de rachas.



Fuente: elaboración propia con base en los resultados del Backtesting

De acuerdo a lo anterior, podemos ver que el modelo 6 presenta la mayor disminución frente al modelo 3, indicando así, que este modelo asume un mayor riesgo, tal como se venía percibiendo en los anteriores apartados, también se aprecia que la distribución de racha negativa más esperada este entre 1-5, mientras que la positiva se encuentra entre 1-3, resultado que era de esperarse, dada la distribución de acierto de los dos modelos.

En base al análisis en conjunto, se concluye que a pesar de que el modelo 6 tiene una rentabilidad superior al modelo 3, este exhibe un mayor riesgo asociado a dicha rentabilidad, por lo cual se opta por la **elección del modelo 3**, debido que este mismo mantiene un mejor ajuste de beneficio respecto al riesgo asumido, lo que es preferible para la etapa final.

Evaluación y gestión de riesgo del modelo

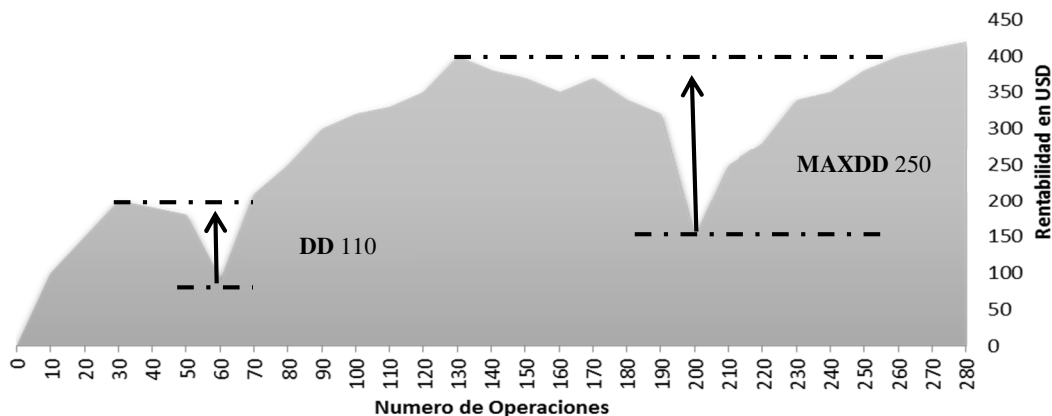
La evaluación monetaria a pesar de ser la última fase en la creación del sistema, es una de las más importantes, pues en esta se estudia el riesgo asumido tanto de la cuenta como por operación, además del riesgo de ruina y otros ratios que permitirán determinar la volatilidad o riesgo del sistema, lo que recobra mayor importancia de cara a la gestión de capital de terceros, así pues dentro de los ratios con los que se evaluara el sistema estarán: el Montecarlo del Drawdown, el Ratio CA y RT, el riesgo de ruina o (RoR), el recovery factor, el profit factor y el ratio de sharpe, que en su conjuntos indicaran si es viable o no operar el sistema en mercado real y de esta manera cumplir con el tercer objetivo de investigación.

Así pues, se procederá a calcular el Drawdown y explicar de manera teórica el cálculo y significado de los ratios ya mencionadas, para posteriormente explicar sus resultados.

Montecarlo del Drawdown (DD)

Dentro de la gestión de riesgo el Drawdown es quizás una de las métricas más importantes a tener en cuenta, puesto que de esta se podría partir para calcular el riesgo asumido en cada operación, como se ha mencionado anteriormente, esta métrica indica la reducción máxima que podría experimentar el capital de la cuenta en valor absoluto y su forma de cálculo estaría dada como la diferencia entre el punto más alto al punto más bajo, como se aprecia en el **(Gráfico 18)**.

(Grafico 18) Calculo de DD.



Fuente: : Elaboración propia con base en plataforma RoboForex

Ahora bien, con el objetivo de evaluar el modelo en el peor escenario y debido a que el Drawdown tiende a aumentar conforme aumenta el número de operaciones perdedoras seguidas, se emplea la herramienta de Montecarlo, con la finalidad de aleatorizar los resultados del modelo elegido en el apartado anterior, logrando así simular a partir de los datos, el peor Drawdown alcanzado en el periodo analizado, en la (Tabla 11) se observan los resultados.

(Tabla 11) Resultados del Montecarlo para Evaluar el DD Max.

| Montecarlo del Drawdown | |
|-------------------------|-------|
| DD más Frecuente | 16% |
| DD Promedio | 15.1% |
| Max DD | 26% |

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver, luego de haber simulado 100 escenarios de 1967 operaciones cada uno, el máximo Drawdown que experimentaría la cuenta sería del 26%, si se asumiese un riesgo del 1% por operación, en una cuenta de 10.000 USD la reducción absoluta sería de 2.600 USD, reducción que sería bastante acercada al riesgo teórico máximo recomendable (30%), pues como se muestra en la (Tabla 12) niveles de riesgo superiores a este, incurrirían en una sobre carga emocional, haciendo aún más difícil la tarea de recuperar, debido a que se tendría que hacer más del 50% para recuperar la pérdida asumida, pues como se ve en el (Grafico 19) el riesgo de pérdida se desarrolla de forma lineal, mientras que la ganancia de recuperación teórica, lo hace de forma exponencial.

(Tabla 12) Tabla de DD y su % de Recuperación.

| Drawdown Max | % de Recuperación del DD |
|--------------|--------------------------|
| 5% | 5,3% |
| 10% | 11,1% |
| 15% | 17,6% |
| 20% | 25,0% |
| 25% | 33,3% |
| 30% | 42,9% |
| 35% | 53,8% |
| 40% | 66,7% |
| 45% | 81,8% |
| 50% | 100,0% |
| 55% | 122,2% |
| 60% | 150,0% |
| 65% | 185,7% |
| 70% | 233,3% |
| 75% | 300,0% |
| 80% | 400,0% |
| 85% | 566,7% |
| 90% | 900,0% |
| 95% | 1900,0% |
| 100% | |

Fuente: elaboración propia

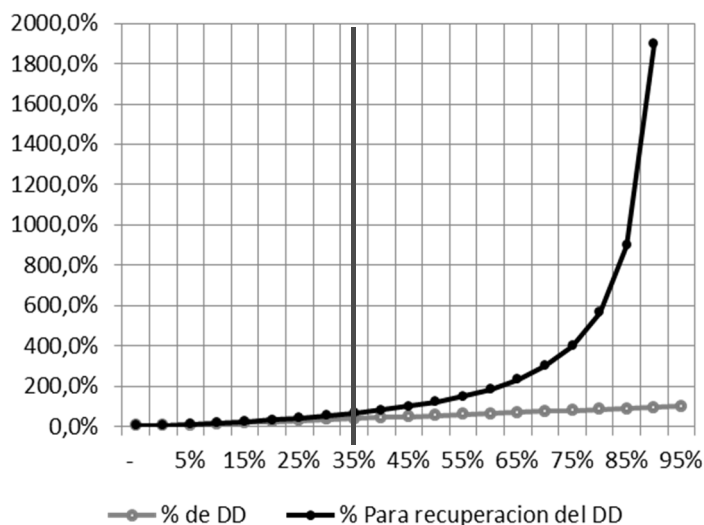
Es por tanto que debido al porcentaje de aciertos del 36.1% que presenta el modelo seleccionado, se hace necesario disminuir el riesgo por operación, pues de acuerdo con los resultados del modelo, las rachas de operaciones perdedoras serán más frecuentes de lo deseadas, en la (Tabla 13) se muestra los parámetros del riesgo por operación, la racha máxima de operaciones perdedoras para alcanzar el máximo riesgo tolerado de la cuenta y el tamaño de la cuenta para operar el sistema, todos estos parámetros seleccionados de acuerdo a los resultados obtenidos hasta el momento.

(Tabla 13) Parámetros de cuenta.

| Parámetros de Riesgo de la cuenta | |
|-----------------------------------|------------|
| Riesgo Por Operación | 0.30% |
| Máximo DD | 25% |
| Nº Operaciones para llegar al DD | 83 |
| Tamaño de Cuenta | 10.000 USD |

Fuente: elaboración propia

(Grafico 19) Distribución del DD y el % de Recuperación.



Fuente: elaboración propia

Riesgo de ruina (RoR)

El riesgo de ruina entendido como el riesgo de perder determinada cantidad de capital, indica la probabilidad que tiene el sistema de experimentar el nivel máximo de Drawdown de la cuenta tolerado, y para su cálculo se emplea la fórmula expuesta por Ralph Vince (1992), en la **Ecuación 6** se puede ver que:

$$RoR = \left[\frac{(1-P)}{P} \right]^{\frac{Max Risk\%}{A}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

$$P = 0.5 \times \left(1 + \frac{Z}{A} \right)$$

$$Z = [(\% \text{ de Acierto} \times \text{Ganancia Media}) - (\% \text{ de Fracaso} \times \text{Perdida Media})]$$

$$A = [(\% \text{ de Acierto} \times \text{Ganancia Media})^2 - (\% \text{ de Fracaso} \times \text{Perdida Media})^2]^{0.5}$$

$$\text{Ganancia media} = \frac{\text{ganancia}}{\text{Capital}}$$

$$\text{Perdida media} = \frac{\text{Perdida}}{\text{Capital}}$$

Recovery Factor

Este es un indicador que muestra la fiabilidad de la estrategia, pues permite conocer en cuanto podría exceder la rentabilidad del sistema al máximo riesgo alcanzado, es decir que indicaría la capacidad del sistema para recuperarse de la máxima pérdida, por tanto, lo ideal siempre será buscar una relación de recovery factor mayor a 1:1, su forma de cálculo se muestra en la **Ecuación 7**

$$\text{Recovery Factor} = \frac{\text{Promedio de la Ganancia Neta Anual}}{\text{Max DrawDown}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Profit Factor

Esta es otra métrica altamente empleada al momento de analizar sistemas de trading, pues indica la ganancia obtenida por cada dólar arriesgado, por tanto, si el sistema arroja un profit factor de 1.17 este indicara que en promedio se estaría ganando 0.17 USD por cada operación, su forma de cálculo se puede ver en la **Ecuación 8**.

$$\mathbf{Profit\ Factor} = \frac{\mathbf{Ganancia\ Neta\ Promedio\ por\ operaciom}}{\mathbf{Perdida\ Neta\ Promedio\ por\ operaciom}} \quad \mathbf{Ecuación\ 8}$$

Ratio CA y RT o Recovery Time

Tanto la ratio CA, como el ratio RT, son dos medidas de evaluación de sistemas mensual, el primero es una medida muy similar al Recovery Factor, y nos permite saber cuánto sería el ratio de recuperación mensual del sistema, y su cálculo se observa en la **Ecuación 9**. Por otro lado, el ratio RT o recovery time, se encargará de indicar el tiempo en meses teóricos que se necesitaría para recuperar el máximo Drawdown de la cuenta, su cálculo se muestra en la **Ecuación 10**.

$$\mathbf{CA} = \frac{\mathbf{Promedio\ de\ la\ Ganancia\ media\ Mensual}}{\mathbf{Max\ DrawDown}} \quad \mathbf{Ecuación\ 9}$$

$$\mathbf{RT} = \frac{1}{\mathbf{CA}} \quad \mathbf{Ecuación\ 10}$$

Ratio de Sharpe

Este ratio resulta ser una medida muy interesante, pues permite analizar el rendimiento del sistema respecto del riesgo asumido en el mismo, indicando así si la inversión en el sistema es realmente buena o es un error dado su riesgo, pues el exceso de rentabilidad no compensa la exposición, su forma de cálculo se presenta en la **Ecuación 11**, y se espera siempre que su resultado sea mayor a 1 e incluso a 2, pues de lo contrario el riesgo asumido de la inversión sería muy alto ante el posible retorno que esta pueda tener.

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{[R-R_f]}}{\mathbf{\sigma}} \quad \mathbf{Ecuación\ 11}$$

Dónde: R: Porcentaje de Rentabilidad Anual
 R_f : Porcentaje del Rendimiento sin riesgo
 σ : Dispersión de la R

De esta manera con base en los cálculos de las diferentes ratios expuestas, se presenta en el apartado de resultados la (**Tabla 14**), en donde se pueden ver los resultados finales del sistema, además el cálculo de cada uno de los ratios expuestos se observa en el (**Anexo B**).

Resultados del modelo

En la (**Tabla 14**) se muestran los resultados finales que se obtendrían en una cuenta de 10.000 USD, operada durante 3 años en los pares de divisas de GBP-USD y EUR-USD, con un riesgo fijo por operación del 0.30% del capital inicial, buscando un ratio fijo de beneficio/riesgo en cada operación de 3:1, bajo el patrón fractal definido (modelo M3).

(**Tabla 14**) Resultados del modelo a operar.

| Resultados Del Modelo M3 | |
|--------------------------------------|----------------|
| Periodo de Análisis | 2018 – 2020 |
| Número de Operaciones | 1967 |
| Tamaño de la Cuenta | 10.000 USD |
| Porcentaje de beneficio | 196.4% |
| Volatilidad Anual del Sistema | 22.17% |
| Beneficio Neto | 19.635 USD |
| Beneficio Neto Anual | 6.545 USD |
| Beneficio Promedio Mensual | 545 USD |
| Beneficio Promedio Anual | 84.93 USD |
| Perdida Promedio | -32.35 USD |
| Drawdown Max | 390 USD |
| Drawdown Max % | 3.9% |
| RoR | 1.26% |
| Recovery Factor | 16.7 |
| Profit Factor | 2.62 |
| Ratio CA | 1.39 |
| Recovery Time | 0.719 |
| Ratio de Sharpe | 2.22 |

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados expuestos en la **(Tabla 14)**, finalmente se observa que el modelo elegido (M3), al final del periodo analizado, es un modelo rentable, pues este arroja un beneficio esperado del 196.4% del capital invertido al finalizar los tres años y una volatilidad²⁶ positiva del retorno de 22.17%, con un riesgo de pérdida de la cuenta del 3.9%, un tiempo de recuperación de la pérdida inferior a un mes (0.72) y una probabilidad de ocurrencia de dicho riesgo de pérdida del 1.26%, además presenta un recovery factor del 16.7 indicando que el sistema tiene una buena capacidad de recuperación de la cuenta, pues su ganancia es 16,7 veces más grande, que su pérdida máxima en el periodo observado, y un profit factor de 2.62 que al ser mayor que uno, soporta el resultado de los ratios anteriores, pues gana 2.62 USD por cada dólar arriesgado es decir un neto de 1.62 USD, además de presentar un ratio de Sharpe de 2.22 lo que es bueno puesto que el modelo gana mucho más que el riesgo asumido.

Sin embargo, resulta relevante indicar que los resultados futuros en el trading, no están supeditados por los resultados pasados y al emplear la metodología del backtesting para crear y evaluar sistemas, esta no garantiza que en el futuro estos resultados se repitan, no obstante, estos resultados logrados permitirán tener una noción futura de lo que pueda suceder con la estrategia en mercado real.

²⁶ La volatilidad del sistema, hace referencia a la dispersión existente entre los beneficios obtenidos en el periodo analizado, para el caso de esta investigación en partícula, la volatilidad es positiva pues no se experimentaron rendimientos negativos al finalizar cada periodo de estudio.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la validación de las hipótesis planteadas en esta investigación, se encuentra que tal como lo demuestra (Joher, 2009) y (Funes, 2016), los retornos de las series financieras, no se distribuyen bajo el supuesto de normalidad inducido por la hipótesis del mercado eficiente, sino que estos presentan distribuciones leptocúrticas, indicando que una representación gaussiana de los retornos, induciría a una subestimación del riesgo de inversión, pues los eventos extremos o *cisnes negros*, tienen una mayor probabilidad de ocurrencia a la esperada, por lo que, una mejor distribución para su representación sería la de Pareto-Levy (o también llamada colas pesadas).

Otra conclusión importante tiene que ver con la persistencia en las series financieras, pues otro de los supuestos de la teoría del mercado eficiente indica que los retornos de las series financieras presentan una distribución aleatoria, y por tan los precio de ayer, no tienen relación alguna con los precios de hoy, haciendo imposible predecir los movimientos del precio por medio del análisis técnico, fundamental o cualquier otro medio, no obstante, mediante la hipótesis de investigación 2, se evidencia que el mercado no solo no es aleatorio en todo los momentos de su serie, sino que además es fractal, pues de acuerdo con el cálculo del coeficiente de Hurst, el retorno de las series temporales presenta persistencia, es decir que tienen memoria y por tanto es probable que un periodo bajista este antecedido por otro igual, hecho que es relevante pues si se podría crear modelos que permitan generar rentabilidad en el tiempo.

En relación a lo anterior, otro de los aportes relevantes de esta investigación, tiene que ver con la creación del modelo de especulación bajo el enfoque fractal, pues este no solo sirve de guía para el diseño de nuevos modelos de inversión, sino que también permite conocer las principales ratios de evaluación para cualquier tipo de inversión. Ahora bien, en cuanto a los resultados obtenidos por el modelo de especulación, se concluye que son bastante satisfactorios, pues el patrón es robusto al no ajustarse ni al activo ni al periodo de tiempo, sino a la estructura del precio, además de ofrecer una adecuada rentabilidad respecto del riesgo asumido, en los activos y periodo evaluado.

Finalmente, el contraste de las dos hipótesis de investigación y los resultados del modelo de especulación en los periodos evaluados, posibilitan el uso de la hipótesis fractal, como alternativa al estudio de los movimientos del precio en mercados financieros y la creación de modelos para la predicción de dichos movimientos.

Bibliografía

- Bachelier, L. (1900). Théorie de la spéculation Annales Scientiques de Ecole Normale. *l' Ecole Normale Superieure*.
- Balladares, K. A.-S.-G. (2019). Contraste de la hipótesis de mercados fractales en el mercado latinoamericano de valores. *Revista ESPACIOS*, 40(30).
- Barr Rosenberg, K. R. (1985). Persuasive evidence of market inefficiency. *The Journal of Management Spring*, 11(3), 9-16.
- Brown, R. (. (1827). Brownian motion. *Unpublished experiment*.
- Caro B, A. M. (2018). Fractales geometricos y el velo de la incertidumbre aplicado a la BVC 1991 a 2017.
- Collings, B. J. (1987). Compound random number generators. *Journal of the American Statistical Association*, 82(398), 525-527.
- Davila, C. (2005). "Estudio de las colas de distribucion de retornos de acciones en el Merval en el contexto de la teoria de valores extremos". *Universidad del Cema*.
- Duarte, J. B. (2013). *FRACATALES Y CAOS EN EL MERCADO BURSÁTIL COLOMBIANO*.
- Einstein, A. (1956). *investigations on the Theory of the Brownian Movement*. Courier Corporation.
- ELLIOTT, R. N. (1938). *PRINCIPIO DE LAS ONDAS*. Nueva York: The wave principle Collins.
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: a review of theory and empirical Work. *Journal of Finance*.
- Funes, I. P. (2016). *Fractales en finanzas: Una triple aplicación. Contraste de la aleatoriedad, la gestión de cisnes negros y el behavioral finance*. Madrid española.
- Gregory-Williams, J. &. (2004). *Trading Chaos: Maximize Profits with Proven Technical Techniques* . (Vol. 161) John Wiley & Sons.
- Joher, A. B. (2009). Fractales en los mercados financieros .
- Kendall, M. G. (1953). The analysis of economic time-series-part I: prices. *Journal of the Royal Statistical Society*.
- Lintner, J. (1965). Security prices, risk, and maximal gains from diversification. *The journal of finance*, 20(4), 587-615.
- Louis, L. W. (1990). Comparison of 12 Technical Trading Systems. *Traders Press*.
- Mandelbrot. (2006). Fractales y finanzas una aproximacion matematica a los mercados: arriesgar, perder y ganar. *Tusquets*.

- Mandelbrot, B. (2006). *Fractales y Finanzas: Una aproximación matemática a los mercados, arriesgar, perder y ganar*. Barcelona, España: Tusquets Editores S.A.
- Markowitz, H. (1952). La utilidad de la riqueza. *Revista de economía política*, 60 (2), 151-158.
- Murphy, J. j. (1999). *Technical Analysis of the Financial Markets*. New York: New York Institute of Finance .
- Ochoa Ruiz, L. A. (2018). *Análisis de la eficiencia en el mercado de valores ecuatoriano en el período 2002-2013*. Ecuador: (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).
- Peters, E. E. (1994). *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and*. Vol. 24. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Piskarev, D. (8 de febrero de 2017). *Calcular el coeficiente de Hurst*. Recuperado el 2 de Enero de 2021, de MQL5: <https://www.mql5.com/ru/articles/2930>
- Quiroga, E. (2017). EFICIENCIA EN LOS MERCADOS FINANCIEROS Y PREDICCIÓN DE PRECIOS DE LOS ACTIVOS. *Ciencias Administrativas*.
- Ramírez Caudillo, C. F. (2018). *Comparación entre modelo browniano, a través de la metodología Box-JenKins y el análisis multifractal: Aplicación al sector financiero*. Ciudad de Mexico.
- Restrepo Restrepo, J. H. (2011). *Análisis del índice general de las bolsas de valores de Colombia (IGBC), Chile (IPSA) y Perú (IGBVL), y sus rendimientos desde la teoría del caos 2001-2011*. Universidad EAFIT.
- Roberts, H. V. (1967). Informative stopping rules and inferences about population size. *Journal of the American Statistical Association*, 62(319), 763-775.
- Sewell, M. (2011). History of the Efficient Market Hypothesis. *University College of London Department of Computer Science*.
- Sharpe, W. F. (1963). A simplified model for portfolio analysis. *Management science*.
- Taleb, N. N. (2005). The illusions of dynamic replication. *Quantitative Finance*.
- Tie, F. R. (2007). Tié, F. R. D. (2007). La hipótesis fractal como marco para la investigación de los mercados financieros: aplicación del análisis R/S al caso español. In *El comportamiento de la empresa ante entornos dinámicos. Asociación Española de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM)*.

Torre, S. R. (2012). *Memoria de largo plazo en el índice S&P 500: Un enfoque fractal aplicando el coeficiente de Hurst con el método R/S*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

Treynor, J. L. (1961). *Market value, time, and risk. Time, and Risk*.

Vince, R. (1992). *The mathematics of money management: risk analysis techniques for traders*. (Vol. 18). John Wiley & Sons.

Anexo A

(Gráfico 1) Prueba de invarianza de escala Euro/Dólar (Semanal-Mensual)



Gráfico de la izquierda representa el movimiento del para EUR-USD en semanal durante el periodo 01-01-2013 al 31-12-2020 y el recuadro hace referencia al periodo del 22-02-2015 al 04-06-2017.

Gráfico de la derecha representa el movimiento del para EUR-USD en mensual durante el periodo 02-03-2013 al 31-12-2020 y el recuadro hace referencia al periodo del 01-02-2015 al 01-05-2017.

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma Metatrader 4 Bróker RoboForex

(Gráfico 2) Prueba de invarianza de escala Euro/Dólar (1/2 hora-4 horas)



Gráfico de la izquierda representa el movimiento del para EUR-USD en 30 minutos durante el periodo 06-08-19 al 23-08-2019 y el recuadro hace referencia al periodo del 07-08-2019 al 13-08-2019.

Gráfico de la derecha representa el movimiento del para EUR-USD en 4 hora durante el periodo 06-02-2018 al 13-08-2018 y el recuadro hace referencia al periodo del 12-02-2018 al 24-04-2018.

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma Metatrader 4 Bróker RoboForex

(Gráfico 3) Prueba de invarianza de escala Libra/Dólar (Semanal-1 hora)



Gráfico de la izquierda representa el movimiento del para GBP-USD en semanal durante el periodo 15-06-14 al 27-10-2019 y el recuadro hace referencia al periodo del 19-06-2016 al 24-06-2018.

Gráfico de la derecha representa el movimiento del para GBP-USD en 1 hora durante el periodo 22-05-2018 al 01-06-2018 y el recuadro hace referencia al periodo del 29-05-2018 al 31-05-2018.

Fuente: Elaboración propia con base en plataforma Metatrader 4 Bróker RoboForex

Anexo B

A continuación, se presentan los cálculos de las diferentes ratios para evaluar la viabilidad del modelo a operar en mercado real, con base en los datos obtenido en la realización del backtesting.

Cálculo de Riesgo de ruina (RoR)

$$RoR = \left[\frac{(1 - P)}{P} \right]^{\frac{Max Risk\%}{A}}$$

Dónde:

$$P = 0.5 \times \left(1 + \frac{Z}{A} \right)$$

$$Z = [(\% \text{ de Acierto} \times \text{Ganancia Media}) - (\% \text{ de Fracaso} \times \text{Perdida Media})]$$

$$A = [(\% \text{ de Acierto} \times \text{Ganancia Media})^2 - (\% \text{ de Fracaso} \times \text{Perdida Media})^2]^{0.5}$$

$$\text{Ganancia media} = \frac{\text{ganancia}}{\text{Capital}}$$

$$\text{Perdida media} = \frac{\text{Perdida}}{\text{Capital}}$$

Al remplazar en las fórmulas tendríamos:

$$\text{Ganancia media} = \frac{60.303}{10.000} = 6.03$$

$$\text{Perdida media} = \frac{40.667}{10.000} = 4.07$$

$$Z = [(0.361 \times 6.03) - (0.639 \times 4.07)] = (4.70) - (6.76) = -0.43$$

$$A = [(4.70)^2 - (6.76)^2]^{0.5} = -1.43$$

$$P = 0.5 \times \left(1 + \frac{-0.43}{-1.43} \right) = 0.80$$

$$RoR = \left[\frac{(1 - 0.8)}{0.8} \right]^{\frac{0.25}{-1.43}} = [0.25]^{-0.17} = 1.26\%$$

Cálculo de Recovery Factor

$$\text{Recovery Factor} = \frac{\text{Promedio de la Ganancia Neta Anual}}{\text{Max DrawDown}}$$

$$\text{Recovery Factor} = \frac{6.545 \text{ USD}}{390 \text{ USD}} = 16.7$$

Cálculo de Profit Factor

$$\text{Profit Factor} = \frac{\text{Ganancia Neta Promedio por operacion}}{\text{Perdida Neta Promedio por operacion}}$$

$$\text{Profit Factor} = \frac{84.93 \text{ USD}}{32.35 \text{ USD}} = 2.62$$

Cálculo de Ratio CA

$$CA = \frac{\text{Promedio de la Ganancia media Mensual}}{\text{Max DrawDown}}$$

$$CA = \frac{545.43 \text{ USD}}{390 \text{ USD}} = 1.39$$

Cálculo de RT o Recovery Time

$$RT = \frac{1}{CA}$$

$$RT = \frac{1}{1.39} = 0.72$$

Cálculo de Ratio de Sharpe

$$S = \frac{[R - R_f]}{\sigma}$$

Dónde: R: Porcentaje de la Rentabilidad Anual

R_f : Porcentaje del Rendimiento sin riesgo (para efectos del cálculo este podría ser igual a 0 sin embargo tomaremos la tasa de rentabilidad anual de un CDT en el Banco Pichincha S.A. la cual está en torno a 5.40% por los 3 años que dura la inversión.

σ : Dispersión de R

$$S = \frac{[65.5 - 16.2]}{22.17} = 2.22$$