

## **1. Introducción**

### **a) Interés en el tema propuesto**

Este trabajo se centra en el ámbito del trading algorítmico, una disciplina que combina los conocimientos financieros con las habilidades informáticas para diseñar e implementar sistemas automatizados de inversión en los mercados bursátiles. Tengo un gran interés en el trading algorítmico por varias razones. En primer lugar, la bolsa y los mercados financieros me generan un gran interés debido a que representan un desafío intelectual y una oportunidad de obtener beneficios económicos para quienes logran entenderlos y anticiparse a sus movimientos. Y, en segundo lugar, me parece fascinante el enorme crecimiento reciente en tecnologías de inteligencia artificial y algoritmos predictivos que están permitiendo la sustitución de actividades que hasta ahora le estaban reservadas al ser humano, para dar paso a una nueva era tecnológica en la que las máquinas superan en eficiencia en algo que hasta ahora nos parecía impensable: la capacidad cognitiva humana. Estos acelerados avances, están permitiendo cada vez más, desarrollar herramientas capaces de procesar y analizar grandes cantidades de datos, y de generar estrategias de inversión que superan el rendimiento humano en muchas ocasiones. Es por ello que, la mezcla del sector financiero, con la generación de una enorme cantidad de información cada instante, unida a estas nuevas tecnologías, podría dar lugar a sistemas capaces de predecir el valor en bolsa de muchos activos y optimizar las decisiones de inversión, muy por encima de lo que lo podría hacer un humano. De hecho, casi todas las empresas referentes en el sector financiero ya tienen departamentos dedicados específicamente al desarrollo de algoritmos para la obtención de ventajas competitivas. Este trabajo pretende explorar este cambio de paradigma, donde la imagen tradicional de Wall Street, llena de gente con conocimientos profundos en finanzas está dando paso a un mundo donde las oficinas se están vaciando debido a una automatización de procesos y decisiones.

Según la definición más general, el trading algorítmico se caracteriza por el uso de algoritmos para realizar operaciones de compra y venta según reglas establecidas, como los movimientos del precio o las noticias económicas. Estamos ante una manera de hacer trading basada en las matemáticas y la lógica. De esta forma, las órdenes se dan en función de un procedimiento algorítmico automatizado.

El trading algorítmico tiene varias ventajas frente al trading manual o discrecional. Entre ellas se pueden destacar la rapidez y precisión en la ejecución de las órdenes, el menor impacto emocional y sesgos cognitivos que tanto pueden afectar en situaciones complicadas en el trading manual, una mayor capacidad para operar en múltiples mercados y activos simultáneamente y una mayor facilidad para evaluar el rendimiento histórico y optimizar los parámetros del sistema en tiempo real. (Donadio & Ghosh, 2019)

### **b) Objetivos**

El propósito general de este trabajo es estudiar diferentes algoritmos y estrategias de trading algorítmico, y su implementación en robots de trading, es decir, en programas informáticos que ejecutarán órdenes de compra o venta en los mercados financieros siguiendo unas reglas o criterios predefinidos. El objetivo será analizar el funcionamiento, resultado, complejidad de obtención de la información, complejidad de ejecución y sobre todo rendimiento financiero de los diferentes robots de trading. Los objetivos específicos serán los siguientes:

- Conocer e investigar distintas técnicas de predicción de valores en series temporales que se usan en los mercados para programar a los robots de trading,

tales como indicadores técnicos, análisis fundamental y diferentes técnicas de machine learning.

- Comparar el desempeño de diferentes robots de trading que implementan estas técnicas, utilizando como criterios de evaluación la rentabilidad, la volatilidad, el Maximum Drawdown y el Sharpe Ratio. Para ello, se emplearán datos históricos del mercado en el que se opera (SP500) y se realizará backtesting para contrastar los resultados.
- Contrastar los resultados obtenidos por los robots de trading con el índice del mercado en el que operan (SP500), para determinar si es factible ganar al mercado haciendo uso de tecnologías sin el desembolso que realizan grandes empresas financieras. Asimismo, se discutirán las implicaciones éticas, legales y sociales del uso masivo del trading algorítmico.

### **c) Metodología**

La metodología que se va a emplear en este trabajo combina elementos cuantitativos y cualitativos, aunque predomina el enfoque cuantitativo, ya que se basará en la programación de distintos robots de trading que replicarán estrategias, pero también se comentará sobre sus resultados y posibles puntos fuertes o débiles. Los pasos que se seguirán son los siguientes:

- Revisión de literatura sobre técnicas de trading algorítmico empleadas en la actualidad, así como de diferentes modelos de Machine Learning y Deep Learning que se puedan usar en la predicción de valores de acciones. Para ello, se hará una búsqueda sistemática en bases de datos académicas y se seleccionarán los artículos más relevantes y recientes sobre el tema. Se hará un análisis crítico de las fuentes consultadas y se extraerán las principales conclusiones y recomendaciones.
- Realización de las prácticas que va mandando el tutor del trabajo de fin de grado e indagación en ellas y en los distintos modelos y técnicas que propone. En caso de no conseguir o no entender alguna de estas prácticas, se solicitará una tutoría para resolver estas dudas. Se documentará el proceso seguido y los resultados obtenidos en cada práctica, así como las dificultades encontradas y las soluciones aplicadas.
- Desarrollo en Python de los distintos robots de trading haciendo uso de las técnicas y algoritmos aprendidos. Se utilizará una plataforma online para programar, ejecutar y monitorizar los robots de trading, así como para acceder a los datos históricos del mercado (SP500). Se definirán las variables de entrada y salida, los parámetros y los criterios para cada robot. Se realizarán pruebas preliminares para verificar el correcto funcionamiento del código.
- Comparación de resultados y selección de los mejores modelos entre los propuestos. Se realizará backtesting con los datos históricos del mercado (SP500) para evaluar el desempeño de cada robot según los criterios establecidos: rentabilidad, volatilidad, Maximum Drawdown y Sharpe Ratio. Se contrastarán estos resultados con el índice del mercado (SP500) para determinar si es posible ganar al mercado con los robots propuestos. Se seleccionarán los mejores modelos según su rendimiento financiero y se analizarán sus fortalezas y debilidades.

#### d) Marco teórico

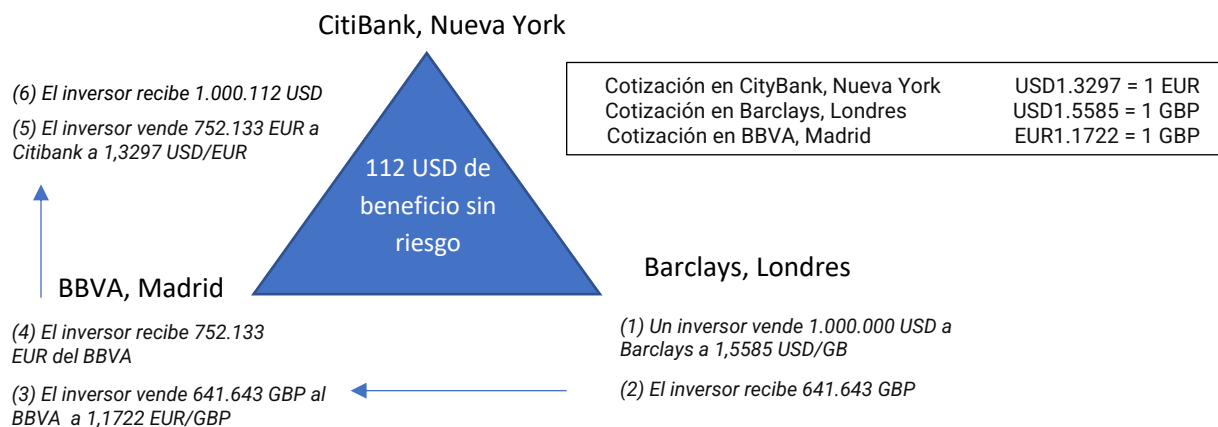
##### a) Revisión de técnicas de trading algorítmico usadas en la actualidad

###### - Arbitraje de alta frecuencia

Una de las estrategias de trading algorítmico más populares y gran responsable de que los mercados financieros sean eficientes, es el arbitraje de alta frecuencia (HFT, por sus siglas en inglés). Esta estrategia consiste en aprovechar las diferencias temporales o espaciales entre los precios de un mismo activo o instrumento financiero en distintos mercados o plataformas. Los algoritmos realizan operaciones rápidas y masivas para capturar estas oportunidades antes que otros participantes. Esta estrategia se aprovecha de pequeñas ineficiencias casi instantáneas del mercado, corrigiéndolo y devolviéndolo hacia ese punto de eficiencia en el que el mercado está en equilibrio y refleja toda la información disponible. (Fama, 1970)

El arbitraje de alta frecuencia se basa en el uso intensivo de herramientas tecnológicas sofisticadas para obtener información del mercado y ejecutar órdenes de negociación de la manera más rentable y totalmente automatizada. Esta estrategia de trading destaca por su velocidad, ya que opera a una velocidad extremadamente alta, del orden de milisegundos. (Jones, 2013)

El arbitraje de alta frecuencia puede aplicarse a diferentes tipos de activos e instrumentos financieros, tales como acciones, índices, divisas, opciones o futuros. Dentro del arbitraje de alta frecuencia, existen diversas subestrategias que se pueden clasificar según el tipo de discrepancia que se explota. Uno de los tipos más comunes de arbitraje que se explota con esta estrategia, es el conocido como arbitraje triangular, en el que operando en el mercado de divisas o FOREX explota las diferencias en cotizaciones entre tres divisas. Un ejemplo muy visual se muestra a continuación:



(Moffet, Stonehill, & Eiteman, 2021)

El arbitraje de alta frecuencia brinda a los grandes inversores institucionales y a los principales actores del mercado oportunidades para obtener beneficios consistentes con un riesgo prácticamente nulo. Sin embargo, también plantea varios desafíos y limitaciones para su implementación efectiva. Entre ellos se encuentran:

- El acceso a los datos de mercado actualizados a tiempo real: para poder detectar las discrepancias entre los precios y reaccionar antes que la competencia, es necesario contar con una fuente fiable y rápida de información sobre las cotizaciones, volúmenes y profundidad del mercado.

- El acceso a plataformas que permitan ejecutar órdenes en milisegundos: para poder aprovechar las oportunidades efímeras que ofrece el arbitraje de alta frecuencia, es necesario contar con una infraestructura tecnológica adecuada que permita enviar y recibir órdenes al mercado con la menor latencia posible.

Estas dos limitaciones principales hacen que en este trabajo no sea factible abordar estas estrategias, principalmente porque el acceso a este tipo de datos y de plataformas solo está disponible para grandes inversores y requieren de un desembolso monetario importante.

- **Técnicas basadas en análisis técnico**